



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

CRISTIANE MASCARENHAS LEITE

**MODULARIZAÇÃO DE PRODUTO E VANTAGEM COMPETITIVA:
UM ESTUDO DE CASO SOBRE O EFEITO DA COMUNALIDADE NO CUSTO DE
PROJETOS DE PLATAFORMA DE UMA EMPRESA AUTOMOTIVA BRASILEIRA**

v. 1

Salvador

2018

CRISTIANE MASCARENHAS LEITE

**MODULARIZAÇÃO DE PRODUTO E VANTAGEM COMPETITIVA:
UM ESTUDO DE CASO SOBRE O EFEITO DA COMUNALIDADE NO CUSTO DE
PROJETOS DE PLATAFORMA DE UMA EMPRESA AUTOMOTIVA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia – UFBA, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Lima Cruz Teixeira

Salvador

2018

Escola de Administração - UFBA

L533 Leite, Cristiane Mascarenhas.

Modularização de produto e vantagem competitiva: um estudo de caso sobre o efeito da comunalidade no custo de projetos de plataforma de uma empresa automotiva brasileira /Cristiane Mascarenhas Leite. – 2018. 79 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo.

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Lima Cruz Teixeira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola de Administração, Salvador, 2018.

1. Indústria automobilística – Estudo de casos. 2. Vantagem competitiva (Comercio). 3. Produtos novos – Desenvolvimento. 4. Planejamento empresarial. 5. Construção modular. 6. Engenharia de produção. 7. Automóveis - Projetos e construção – Custos. I. Universidade Federal da Bahia. Escola Administração. II. Título.

CDD – 629.222 092

CRISTIANE MASCARENHAS LEITE

**MODULARIZAÇÃO DE PRODUTO E VANTAGEM
COMPETITIVA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE O EFEITO DA
COMUNALIDADE NO CUSTO DE PROJETOS DE PLATAFORMA DE UMA EMPRESA
AUTOMOTIVA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração, Escola de Administração, da Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em 24 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo
Doutor em Ciências Sociais Aplicadas pela Boston University School of Management
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. Dr. Francisco Lima Cruz Teixeira
Doutor em Política de Ciência e Tecnologia pela University of Sussex
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. Dr. José Célio Silveira Andrade
Pós-doutor em Ciências Políticas e Relações Internacionais pela Université Laval
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Prof. Dr. Francisco Uchoa Passos
Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo (USP)
SENAI CIMATEC - Bahia

A

Meu filho Rodolfo, minha razão de viver e motivação para meu desejo de sempre seguir em frente, e ao meu companheiro Márcio, apoio constante nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar.

Aos meus pais, fonte constante de inspiração em minha vida.

À minha família, por compreender os momentos de ausência devido à árdua caminhada nos campos do conhecimento.

Aos meus colegas de trabalho, especialmente aqueles integrantes do meu time, por todo apoio e suporte, principalmente nos momentos de ausência, nos quais pude me dedicar a esta jornada acadêmica na certeza de que nenhuma entrega deixaria de ser feita e nenhum prazo deixaria de ser cumprido.

A todos os Professores que contribuíram direta e indiretamente para esta formação.

Em especial, a meu orientador, Prof. Dr. Paulo Soares Figueiredo, que ajudou a manter a direção da pesquisa e incentivou a segui-la até o fim. E ao meu co-orientador, Prof. Dr. Francisco Lima Cruz Teixeira, pela inspiração na condução desta pesquisa.

“Ter vantagens competitivas é crucial para o sucesso de longo prazo. Sem elas, uma empresa acabará afundando, se é que sobreviverá.”

(AAKER, 2007, p. 3).

Leite, Cristiane M. *Modularização de Produto e Vantagem Competitiva: o caso de uma automotiva brasileira*. 79f. il. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

RESUMO

Na área de Administração, considerando o campo de estudo da Estratégia em Organizações, dentro dos temas de interesse neste campo, estão os fatores determinantes da criação de vantagens competitivas. Muito tem se discutido sobre a adoção da modularidade como estratégia competitiva, no contexto do desenvolvimento de novos produtos, considerando as metodologias e técnicas de gestão de projetos, no contexto da gestão da produção, e também no contexto da gestão de Operações e Logística. No entanto, a pouca existência de pesquisas quantitativas sobre o tema, verificada durante a revisão bibliográfica realizada, especialmente no universo das automotivas brasileiras, onde as pesquisas existentes versam sobre este tema, em sua maioria, sob uma visão qualitativa, evidenciam que a realização de estudos empíricos sobre modularidade ainda é pertinente, sobretudo considerando o constructo comunalidade. Neste estudo, o indicativo da modularidade selecionado como constructo de pesquisa foi o grau de comunalidade peças, sendo a variável independente; e o índice de custos de desenvolvimento de novos produtos em que a arquitetura modular foi uma estratégia de design selecionada como vantagem competitiva de redução de custos, é a variável dependente. A pesquisa foi realizada considerando projetos de veículos de uma montadora localizada no Brasil, com participação da engenharia brasileira. Estabeleceu-se como objetivo geral detectar indícios de que uma maior comunalidade de peças está associada a um menor esforço de engenharia. Para atingir este objetivo, utilizando uma abordagem quantitativa, foi realizado um estudo empírico, de caráter descritivo e exploratório, através de um estudo de caso. Foram coletados dados de peças de uma família de produtos desenvolvidos em uma mesma plataforma, através de projetos de engenharia subsequentes, e também os dados relativos aos custos de homem-hora de engenharia gastos no desenvolvimento destes produtos. A análise dos dados encontrados verificou que o grau de comunalidade apresenta um aparente impacto no custo de desenvolvimento de novos produtos cuja arquitetura de design é modular, evidenciando que esta pesquisa atingiu ao objetivo proposto. No entanto, dada a natureza específica do caso estudado, concluiu-se que mais pesquisas são necessárias para possibilitar a generalização dos achados.

Palavras-chave: Modularidade de Produto. Comunalidade. Design Modular. Desenvolvimento de Produto Modular. Indústria Automobilística.

Leite, Cristiane M. *Modularização de Produto e Vantagem Competitiva: o caso de uma automotiva brasileira*. 79f. il. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

ABSTRACT

In the area of Administration, considering the field of study of the Strategy in Organizations, within the themes of interest in this field, are the determining factors of the creation of competitive advantages. The adoption of modularity as a competitive strategy presents broadly discussed in the context of the development of new products, considering the methodologies and techniques of project management, in the context of production management, and in the context of Operations and Logistics management. The lack of quantitative research on the subject, verified during the bibliographic review, especially in the Brazilian automotive industry, where the research on this subject, mostly under a qualitative view, shows that the realization of empirical studies on modularity is still relevant, especially considering commonality as the construct. In this study, the modularity indicative selected, as the research construct was the degree of commonality of pieces, being the independent variable; and the index of costs of development of new products in which the modular architecture was a selection design strategy as a competitive advantage of cost reduction, was the dependent variable. The research considered vehicle designs of an automaker located in Brazil, with the participation of Brazilian engineering. It has been established, as a general objective to detect evidence that greater commonality of parts is associated with less engineering effort. To achieve this objective, it was adopted a quantitative approach to conduct a descriptive and exploratory empirical study through a case study. Data from parts of a family of products developed on the same platform were collected through subsequent engineering projects, as well as data on work force engineering costs spent on the development of these products. The analysis of the data found verified that the degree of commonality presents an apparent impact on the cost of developing new products whose design architect is modular, evidencing that this research reached the proposed objective. However, given the specific nature of the case studied, needs more researches to make possible the generalization of the findings.

Keywords: Product Modularity. Commonality. Modular Design. Modular Product Development. Automotive Industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A ideia básica da modularidade	26
Figura 2 - Módulos típicos disponíveis na literatura	27
Figura 3 - Sistema hierárquico e conceitual da estratégia de modularização	33
Figura 4 - Associação de conceitos relacionados à literatura de modularidade	33
Figura 5 - Estratégias de produto e processo para reduzir variedade interna	36
Figura 6 - Benefícios da Modularização	44
Figura 7 - Benefícios da Modularização de Produto (contexto MID /MIP).....	45
Figura 8 - Ilustração de uma família de produtos compartilhando funções	49
Figura 9 - Comunalidade entre Produtos (Plataforma x Plataforma).....	61
Figura 10 - Comunalidade entre Produtos (Derivativo 1 x Plataforma 1)	62
Figura 11 - Comunalidade entre Produtos (Derivativo 2 x Plataforma 2)	62
Figura 12 - Indicadores de Custos dos Projetos (Plataforma x Plataforma).....	65
Figura 13a - Indicadores de Custos dos Projetos (Derivativos x Plataformas) (a)	66
Figura 13b - Indicadores de Custos dos Projetos (Derivativos x Plataformas).....	66
Figura 14 - Graus de Comunalidade x Custos.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Terminologia e conceitos relacionados à modularidade.....	34
Quadro 2 - Dimensões competitivas adotadas pelas empresas de manufatura.....	35
Quadro 3 - Tipos de Modularidade – Visão Estratégica	40
Quadro 4 - Classificação da Modularização segundo a Visão de Engenharia.....	42
Quadro 5 - Elementos conceituais (constructos) em modularidade de design.....	43
Quadro 6 - Categorias de comunalidade de peças em Projetos de Produtos com hierarquia modular.....	48
Quadro 7 - Distribuição dos Módulos do veículo	57
Quadro 8 - Graus de Comunalidade entre os produtos	63
Quadro 9 - Graus de Comunalidade x Custos	70
Quadro 10 - Comparativo de Indicadores de Custo	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MID	Modularidade de projeto de produto ou design
MIE	Modularidade em Meio ambiente
MIL	Modularidade de processos organizacionais ou da Cadeia de Suprimentos
MIP	Modularidade de produção
MIS	Modularidade em Serviços
MIU	Modularidade de uso
NPD	Desenvolvimento de Novos Produtos
VCS	Vantagens Competitivas Custentáveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.3	IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	20
2	REVISÃO TEÓRICA	22
2.1	TERMINOLOGIA E CONCEITOS.....	24
2.2	MODULARIDADE E ESTRATÉGIA COMPETITIVA	35
2.3	CATEGORIZANDO A MODULARIZAÇÃO DE PROJETO DE PRODUTO	39
2.4	ASSOCIAÇÃO ENTRE MID E COMUNALIDADE DE PARTES.....	47
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA	50
3.1	PERSPECTIVAS EPISTEMOLÓGICAS.....	50
3.2	PERSPECTIVAS TEÓRICAS.....	51
3.3	ABORDAGEM DA PESQUISA.....	51
3.4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	53
3.5	DESENHO METODOLÓGICO.....	55
3.5.1	ETAPA 1 – COLETA DE DADOS EXPLORATÓRIA	55
3.5.2	ETAPA 2 – ANÁLISE DOS DADOS EXPLORATÓRIA/DESCRITIVA	58
4	ANÁLISE E RESULTADOS DA PESQUISA	59
4.1	CENÁRIOS INVESTIGADOS	59
4.2	SOBRE A COMUNALIDADE	61
4.3	SOBRE OS CUSTOS DE ENGENHARIA DE DESENVOLVIMENTO.....	63
4.4	COMUNALIDADE X CUSTOS.....	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, as inovações tecnológicas e a globalização têm levado a uma ampliação na variedade de produtos e as exigências do mercado têm solicitado produtos cada vez mais customizados. Neste ambiente de inovação constante, Smith (2015) destaca que a indústria automotiva é confrontada com o conflito entre atender às necessidades dos clientes, fornecendo produtos personalizados, e realizar as suas operações com o menor custo possível, o que é comum a muitas indústrias de manufatura. Segundo este autor, a personalização do produto é caracterizada como um processo que oferece uma maior variedade de bens, embora possa ampliar a incerteza de produção devido à complexidade dos produtos acabados e suas estruturas de demanda, cuja variabilidade afeta tanto a demanda sobre o mix de produtos quanto o volume do estoque como um todo.

Krause e Eilmus (2011) destacam que, para oferecer preços competitivos, algumas organizações buscam desenvolver produtos fabricados em larga escala, porém padronizados, visando obter uma vantagem de oferecer grandes quantidades dos mesmos produtos. Por outro lado, para ser capaz de obter lucro, ter vários produtos individualizados pode ser uma boa forma de satisfazer às necessidades individuais do cliente. Ambas as estratégias envolvem possibilidades e riscos.

Nesse contexto, o desenvolvimento de famílias de produtos em módulos surge como uma possibilidade de gerar uma maior variedade de componentes, atendendo à questão da individualização e às solicitações de custo do mercado moderno, além de reduzir a utilização dos processos internos, surgindo como um fator de competitividade para a organização.

Na área de Administração, considerando o campo de estudo da Estratégia em Organizações, dentro dos temas de interesse neste campo, estão os fatores determinantes da criação de vantagens competitivas. Dentro do cenário atual, em que as exigências conflitantes dos clientes por preços baixos e produtos personalizados tem sido uma preocupação para diversos segmentos industriais, e, entre eles, o setor automotivo, muito tem se discutido sobre a adoção

da modularidade como estratégia competitiva, no contexto do desenvolvimento de novos produtos, considerando as metodologias e técnicas de gestão de projetos, no contexto da gestão da produção, e também no contexto da gestão de Operações e Logística.

O termo modularidade tem sido amplamente utilizado em diferentes contextos demonstrando a sua utilidade em um grande número de campos que contém sistemas complexos (BALDWIN; CLARK, 2000; KUSIAK, 2002). No contexto das decisões estratégicas de gestão da produção e desenvolvimento de novos produtos, as organizações modernas, especialmente as automotivas, têm adotado a estratégia de modularização, optando pela arquitetura de produtos em módulos e plataformas. Reduzir a variedade é o que Krause et al. (2014) consideraram um grande desafio para as indústrias, uma vez que atinge todo o ciclo de vida de um produto ou família de produtos, e, em particular, o desenvolvimento de novos produtos.

Para Piran et al. (2016a), considerando que a fabricação, bem como o desenvolvimento, de produtos em módulos ajuda a gerir a complexidade, compreende-se que este deve ser um aspecto central da pesquisa sobre a modularização, bem como a avaliação dos seus efeitos sobre a produtividade e a eficiência das organizações.

Segundo Worren et al. (2002 apud BERNARDES; KARLA; COSTA, 2013), a modularidade do produto está positivamente relacionada com a flexibilidade estratégica, que por sua vez pode influenciar positivamente o desempenho da empresa, em função das seguintes proposições: (1) As empresas que atuam em um contexto de mercado mais dinâmico são as mais propensas a empregarem modularidade em suas arquiteturas de produtos; (2) Arquiteturas de produtos modulares estão associadas com a maior flexibilidade estratégica (maior variedade de modelos) e (3) Flexibilidade estratégica (variedade de produtos e taxa de introdução do produto) está associada a um melhor desempenho da empresa.

No livro “A máquina que mudou o mundo”, Womack (1991) afirma que o carro é o segundo bem mais caro da maioria das famílias no mundo, e vemos que esse bem movimenta a economia de qualquer país que se propõe a produzi-lo. Historicamente, a indústria automobilística tem investido na tarefa de inovar em conceitos produtivos e em características e performance de produtos, além disto, apresenta a particularidade de possuir um grande desafio na coordenação do fornecimento devido ao alto grau de complexidade que é a produção de um automóvel, que envolve desde o projeto de fabricação de mais de 10 mil peças distintas até a sua montagem em cerca de 100 grandes componentes.

Segundo Zirpoli e Becker (2011), a indústria automotiva é uma das mais complexas indústrias em termos de tecnologias e atores envolvidos nos processos de inovação. Além disso, a indústria automóvel é também uma das indústrias onde ocorre a discussão teórica sobre o papel da modularidade como um dispositivo de coordenação na cooperação inter-empresa, e como um fator de vantagem competitiva, ainda é grande e atual. Neste contexto, segundo Mcdermott, Mudambi e Parente (2013), a indústria automobilística é apenas um dos grandes contextos para o estudo da criação e difusão de conhecimentos e práticas sobre modularização.

A indústria automobilística é, pois, um segmento industrial caracterizado por rápidas mudanças e constantes inovações. Ela tem passado por uma evolução constante, desde o início da produção em massa da Ford, introduzindo os processos de produção flexível, passando pelos modelos japoneses do Lean Manufacturing e Just in time, e, a partir da década de 1990, introduzindo em seus processos o conceito de modularização de produto nas interfaces entre desenvolvimento de produto e da cadeia de suprimentos e na gestão da produção, no qual é possível encontrar parcerias montadoras-fornecedores, trazendo vantagens competitivas para ambos.

O setor automobilístico brasileiro tem vivenciado momentos de constantes modernizações nos últimos anos, gerando tanto uma grande exposição na mídia local, como também em diversos estudos realizados pela comunidade acadêmica internacional. Estão aí, então, envolvidas questões primordiais para a competitividade como ganhos de produtividade, iniciativas pioneiras no relacionamento montadoras-fornecedores, especialização de força de trabalho, aumento da capacidade produtiva e instalação de empreendimentos automobilísticos em áreas tradicionalmente sem expressão neste setor industrial (PIRES, 2003).

Neste contexto de constantes mudanças e inovações estratégicas, este segmento de manufatura deverá adotar estratégias que levem a obter e manter vantagens competitivas, baseando suas decisões na escolha e na priorização de critérios de desempenho como custo, qualidade, entrega e flexibilidade, e a definição de políticas para as diferentes áreas de decisão (instalações, capacidade de produção, tecnologia, integração vertical, organização, recursos humanos, qualidade, planejamento e controle da produção e novos produtos), de forma que a formulação e a implementação de uma estratégia de produção apresente coerência e consistência entre os critérios e as decisões.

A partir do estudo do tema e das pesquisas realizadas sobre modularização, identifica-se, então, que ainda é pertinente desenvolver estudos sobre este assunto e sobre o impacto da adoção dessa estratégia de produto como um caminho para obtenção de vantagem competitiva em uma empresa.

O presente estudo busca comparar dados de projetos de produtos de uma indústria automotiva brasileira cujo desenvolvimento segue a arquitetura modular, com seus respectivos custos de desenvolvimento (medido através da dimensão dos custos de hora homem de engenharia), de modo que possa se evidenciar que este tipo de estratégia de produto está associado a uma vantagem competitiva de redução de custo devido à redução dos esforços de engenharia em seus processos de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Considerando o segmento automotivo, um dos temas de grande importância é a modularização. Neste contexto, a estratégia de arquitetura modular pode exercer um grande impacto nas metodologias de gestão de projetos adotadas pelas indústrias automotivas, especialmente na etapa de desenvolvimento de novos produtos e na gestão de portfólios de programas e de projetos, além de poder representar uma grande vantagem competitiva para estas organizações. O desenvolvimento de famílias de produtos em módulos surge então como uma possibilidade de gerar uma maior variedade de componentes, atendendo à questão da individualização e às solicitações do mercado moderno, além de reduzir a utilização dos processos internos, surgindo como um fator de competitividade.

No contexto da relação entre as necessidades competitivas de uma organização e a adoção da estratégia de produto modular na indústria automotiva nacional surge, então, uma questão: Em plataformas de veículos, qual é o papel do grau de modularidade de produto na grandeza dos esforços de desenvolvimento subsequentes dos times de engenharia de desenvolvimento de produto? Neste estudo, o indicativo da modularidade selecionado como constructo de pesquisa foi o grau de comunalidade peças, e, a fim de tentar responder à pergunta acima, este estudo teve o propósito de buscar indícios de que um maior grau de comunalidade de peças de um produto de arquitetura modular esteja associado a um menor esforço de engenharia, levando a uma vantagem competitiva de redução de custos.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa foi realizada considerando projetos de veículos de uma montadora localizada no Brasil, com participação da engenharia brasileira. O objetivo geral desta dissertação foi buscar indícios de que um maior grau de modularidade (medido através da comunalidade) de peças está associado a um menor esforço de engenharia. Associado a esse objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar nos dados dos projetos de uma mesma plataforma, considerando o caso de uma montadora brasileira, o grau de comunalidade existente entre os diferentes produtos desenvolvidos pelo time de engenharia, mais especificamente entre o primeiro produto da plataforma e um produto derivado.
- Comparar os índices de custo em horas-homem de engenharia de projetos derivados em relação ao custo do seu projeto de plataforma (Cd/Cp) com os índices de comunalidade referidos anteriormente.
- Comparar o custo de um projeto de plataforma subsequente, em que há comunalidade de partes com um projeto de plataforma anterior, objetivando verificar se este custo é menor.

1.3 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Danese e Filipini (2010) chamam a atenção para o fato de que, devido à modularidade do produto permitir o gerenciamento de uma maior variedade do produto sem a explosão dos custos de inventário e produção, a literatura associa frequentemente modularização a melhorias nos diferentes desempenhos competitivos de uma empresa, tais como custos de produtos, qualidade, flexibilidade, tempo de ciclo de fabricação e atendimento ao cliente. Para estes autores, esta é uma razão para que a modularidade seja constantemente considerada uma abordagem útil para reduzir os custos, favorecendo a flexibilidade de produção e aumentando a padronização dos componentes.

Segundo Jacobs, Vickery e Droge (2007), embora pesquisadores e profissionais tenham afirmado que existe um link entre a modularidade e o desempenho do produto, são escassos os testes empíricos que suportam esta afirmação. Conforme estes autores, ainda que os argumentos lógicos para esta afirmação sejam persuasivos, nenhum estudo de grande escala

empiricamente testou a relação entre a modularidade e as dimensões de desempenho competitivo.

Piran et al. (2016b) reforçam a afirmação dos autores acima e também argumentam que há uma falta de experimentos e havendo apenas um pequeno número de estudos quantitativos que avaliem as consequências da modularização. Isto sugere a necessidade de estudos experimentais e maiores esforços para realizar pesquisas para entender o nível de uso da modularização em um conjunto mais amplo das empresas. Ainda segundo estes autores, a modularidade no design foi identificada como a abordagem mais estudada, entretanto, não foi verificado nenhum estudo no cenário brasileiro que identificasse as consequências da modularidade neste tipo de abordagem.

Para Lau, Yam e Tang (2007), sem testes empíricos sobre o tema da modularidade, pode-se argumentar que a modularidade do produto ajuda apenas os grandes fabricantes (por exemplo, Sony, GM, IBM, Motorola) a desenvolver sistemas de produtos complexos e a controlar os padrões técnicos, mas não pode auxiliar os pequenos fabricantes, que seguem seus sistemas e padrões. Segundo estes autores, devido à restrição de pesquisa sobre o tema, é também questionável se o design de produto modular pode, simultaneamente, melhorar múltiplas capacidades competitivas entre indústrias.

Nunes (2017) argumenta que a discussão do tema modularização se justificativa pela falta de clareza teórica que caracterize os conceitos, evidenciada pela carência de estudos que compilem estes conceitos de forma clara, e também pelo número de organizações que a adotam como estratégia, o que tem provocado o interesse acadêmico em desenvolver estudos acerca deste tema.

Considerando o tema modularização, através de sua pesquisa bibliográfica, Nunes (2017) verificou que, até o momento, a academia se ocupou principalmente com estudos sobre as abordagens, sobre regras de projeto modular e sobre os benefícios que as empresas podem alcançar. Este autor destaca também que existem muitos dados teóricos, porém poucos estudos com dados empíricos, e conclui que são necessários mais estudos e análises sobre a modularização, principalmente estudos de caso em empresas brasileiras, para que seja possível a criação de mais fontes de pesquisas, baseadas na cultura e no mercado econômico do país. Além disso, ele também sugere estudos que comprovem, com maiores dados e resultados, os impactos da modularização, quando essa estratégia for adotada por empresas que atendam à customização de massa.

A fabricação (montagem) de veículos automotores inicia a trajetória do desenvolvimento de competências na indústria automotiva nacional, caracterizada pelo sucessivo aumento de fabricantes instalados no país com a abertura do mercado, o aperfeiçoamento de técnicas produtivas e novas estratégias, como a adoção da modularidade, e a recente e crescente participação em desenvolvimento de projetos de produto são elementos que destacam esta trajetória (HENRIQUES, 2013).

Na ótica de Zirpoli e Becker (2011), a indústria automotiva é uma das mais complexas indústrias em termos de tecnologias e atores envolvidos nos processos de inovação. Mcdermott, Mudambi e Parente (2013) afirmam que a indústria automobilística é apenas um dos vários contextos industriais principais para o estudo da criação e difusão de conhecimentos e práticas. A indústria tem sido educada, por mais de 30 anos, nas virtudes do sistema de produção da Toyota, incluindo redes de fornecedores em camadas, modularização e produção enxuta.

O segmento automotivo, segundo Zirpoli e Becker (2011), também oferece muitas oportunidades para estudar a relação entre a arquitetura do produto e a divisão das tarefas de inovação e como essas tarefas são coordenadas. Sendo também o segmento em que modularidade é discutida como um dispositivo de coordenação na cooperação inter-empresa.

A indústria automotiva tem contribuído significativamente para os avanços tecnológicos e de gestão desde o seu início, e não é diferente no que diz respeito à adoção de estratégia modular. A forma como o setor automobilístico vislumbra essas oportunidades como diferencial competitivo indica que o setor se comporta como um indicador de tendência, o que nos leva a creditar tal ação à demanda dos consumidores, além de intensa e constante competição nesse segmento, que impulsiona as empresas de veículos evolução (HENRIQUES; MIGUEL, 2017).

Estes foram alguns dos motivos que levaram à decisão de pesquisar sobre modularização na indústria automotiva.

Como indicam vários pesquisadores e autores citados neste texto, a modularização é uma estratégia que pode representar muitas competências competitivas, entre elas, a simplificação da cadeia produtiva e melhoria da sua eficiência, a possibilidade de customização de produtos e a redução no tempo de desenvolvimento de novos produtos. Isto tudo pode trazer vantagens de custo, entrega e flexibilidade.

A revisão de literatura, até o momento, indicou uma pequena quantidade de publicações brasileiras sobre o tema, como está evidenciado no estudo de Piran et al. (2016b), em que apenas 10 publicações são brasileiras, de 81 estudos acadêmicos publicados sobre o tema. Em relação à indústria automotiva, identificamos algumas dissertações e teses sobre o tema no Brasil (FIRMO, 2005; HENRIQUES, 2013; LUKACS, 2005; MAGALHÃES, 2007; VENANZI, 2009), nas quais o tema modularização foi abordado de maneira qualitativa, sendo que dois destes trabalhos versaram sobre a interface entre a montadora e o fornecedor, enfatizando as relações entre modularidade de produto e cadeia e suprimentos.

A pouca existência de pesquisas quantitativas sobre o tema, conforme verificada durante a revisão bibliográfica, especialmente no universo das automotivas brasileiras, em que as pesquisas existentes que versam sobre este tema, em sua maioria, sob uma visão qualitativa, evidenciam que a realização de estudos empíricos sobre a modularização ainda é pertinente, sobretudo considerando o constructo comunalidade.

A presente pesquisa possui características de ineditismo, tendo em vista que faz o estudo deste constructo, estabelecendo uma comparação quantitativa do mesmo com um indicador de desempenho de engenharia, que se relaciona com a vantagem competitiva de redução de custos. A não trivialidade da pesquisa pode ser considerada, levando-se em conta que aborda a modularidade de produto (ou de design), uma estratégia organizacional em grande uso nas organizações industriais nacionais do segmento automobilístico.

Sendo assim, a justificativa deste estudo está relacionada à atualidade e importância do tema, uma vez que a modularização tem sido implementada nos últimos anos na indústria automobilística brasileira.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este estudo encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo, a Introdução, apresenta uma contextualização do tema modularização como estratégia competitiva, considerando o ambiente das organizações industriais do segmento automotivo brasileiro, e as reflexões que levaram à identificação dos objetos, problema e questões da pesquisa. Neste capítulo, também são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação, a importância da pesquisa que justificou a sua realização, ressaltando os aspectos de ineditismo, não trivialidade e relevância.

O segundo capítulo traz os achados da revisão de literatura sobre o tema modularização cujas referências teóricas embasaram a definição do problema de pesquisa, do caso estudado e dos resultados da pesquisa. Este capítulo inicia-se com uma apresentação sobre os tipos de modularização, bem como a caracterização do constructo de análise deste estudo que é a comunalidade de peças entre produtos, apresentando as hipóteses de investigação que norteou esta produção. Na continuação, discutem-se as melhores práticas realizadas pelas organizações industriais que adotaram a Modularização de Produto, bem como as vantagens de se adotar esta estratégia. Em seguida, trata-se da comunalidade de partes e o grau de modularidade de design, correlacionando estas estratégias com a vantagem competitiva de custo de modo a se apresentar, por fim, o modelo conceitual de análise.

A metodologia utilizada na pesquisa é abordada no terceiro capítulo. Um estudo de caso único de uma montadora brasileira que adotou a arquitetura de produto modular como estratégia de Design de Produto no contexto das atividades de gestão de projetos de desenvolvimento de novos produtos. Neste capítulo, discutem-se a caracterização da pesquisa e as técnicas e instrumentos de investigação utilizados na coleta dos dados.

No quarto capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados encontrados. No quinto, último capítulo, expõem-se as considerações finais, contemplando as conclusões obtidas a partir da pesquisa realizada, as contribuições desta dissertação, suas limitações e sugestões para futuras investigações.

2 REVISÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é investigar a adoção da modularização pelas organizações industriais do setor automotivo, observando seus tipos e os benefícios associados à sua adoção como estratégia competitiva para maximização de resultados (em especial quanto ao custo ou complexidade), além de discutir alguns aspectos da modularidade de produto e da comunalidade, característica intrínseca a este tipo de modularidade.

Segundo Asan, Polat e Serdar (2004), muitos métodos e abordagens de projeto modular recentes se concentraram no processo de modularização – decomposição e composição. Para estes autores, o “processo de modularização” é projetado para escolher entre três diferentes perspectivas: baseada no cliente, baseada em função e baseada em estrutura-design.

Em seu estudo sobre as características e regras da modularidade na indústria automotiva, Salerno (2001) propôs uma interpretação ampla da “mania modular” que está ocorrendo na indústria automobilística. Segundo este autor, embora seja arbitrado e vinculado a novos produtos e a estratégias de produção e organização, os esquemas modulares que estão sendo implementados e testados, principalmente no Brasil, estão ligados a uma redefinição do negócio e de como executá-lo; a uma redefinição dos limites das empresas e a um novo papel para os fornecedores e uma nova forma de relacionamento com as montadoras, caracterizado não só por fornecimento físico, mas por um tipo especial de relação de serviço.

Bernardes, Karla e Costa (2013) apresentaram uma discussão do tema modularização como um paradigma para a simplificação da gestão e maximização dos resultados, na qual destacam que esta estratégia de gestão surgiu para promover um melhor gerenciamento através da decomposição da complexidade dos modelos produtivos. Para estes autores, a modularização pode ser entendida como um agrupamento e/ou encaixe de diferentes componentes dentro de módulo, e argumentam que é preciso distinguir a definição de modularização e de modularidade, pois se tratam de termos diferentes, porém relacionados.

Em relação aos obstáculos para adoção da estratégia de modularização, Kusiak (2002) cita os baixos entendimentos dos problemas associados a esta estratégia, a ausência de teorias e ferramentas para definição de módulos sob uma ampla perspectiva e a ausência de clareza em relação às vantagens deste método. Este autor também chama atenção para os potenciais custos associados a esta estratégia, que podemos considerar como desvantagem, a exemplo da arquitetura física redundante, da capacidade excessiva devido ao desenvolvimento de aplicações acima do necessário e do potencial para arquitetura de produto estática e excessiva similaridade de produto. Ainda como desafios à modularização, Schuh, Rudolf, Sommer (2016) citam: objetivos conflitantes entre a plataforma, o módulo e a perspectiva do produto; a variedade de produtos versus a padronização; e os ciclos de vida para plataformas versus ciclo de vida de módulos.

Gray (2012) afirma que a revisão bibliográfica demonstra as teorias, os argumentos e as polêmicas essenciais no campo. No ponto de vista de Gray (2012), uma revisão bibliográfica abrangente possibilita o que Shulman chamou de “geratividade”, que significa a capacidade dos pesquisadores de aprofundar estudos daqueles que vieram antes. Algumas palavras-chave como “product development” e “modularization” foram utilizadas na busca, e foram analisados abstracts de artigos e trabalhos acadêmicos para a identificação da temática, dos paradigmas de pesquisa utilizados e da área de negócios abrangida, uma vez que o tipo de organização industrial foco da pesquisa foi a indústria automotiva.

A revisão de literatura, além de permitir uma reflexão do tema e o embasamento para suportar a realização da pesquisa, também permitiu reforçar a importância da realização de estudos acerca deste tema para a academia. Também são apresentados aqui alguns conceitos-chave que serviram para nortear as reflexões deste estudo, incluindo a definição de comunalidade, principal constructo da pesquisa. A modularidade de projeto de produto (ou de design) é apresentada a partir de uma classificação segundo a visão de Engenharia e também são expostas categorias de modularização de Projetos de Produtos com arquitetura modular.

Neste capítulo, apresenta-se um panorama teórico sobre o tema modularização, incluindo uma categorização dos tipos de modularidade, considerando as perspectivas de processos e de produtos, na visão de vários autores.

2.1 TERMINOLOGIA E CONCEITOS

Inicialmente, são apresentados alguns conceitos relacionados ao tema modularização na visão de alguns autores para, no final, estabelecer algumas definições a título de suporte a todas as discussões e reflexões que constam neste estudo.

Modularização

Nunes (2017) apresenta a modularização como um processo estratégico, já que é aplicada a diversos sistemas e também a um processo de planejamento. Este autor estabelece a modularização como uma estratégia que, a partir da sua decisão de escolha, irá gerar as diretrizes para os projetos ou sistemas de arquitetura modular. Em sua ótica, esta pode ser inserida dentro do planejamento estratégico da customização em massa, pois seus processos são cruciais para a manufatura, proporcionando meios de aumentar a variedade dos produtos e atender aos diferentes critérios dos consumidores.

Bernardes, Karla e Costa (2013) definem a modularização como uma técnica de gerenciamento da complexidade a partir da fragmentação dos sistemas complexos que são separados em partes, que, por sua vez, comunicam-se umas com as outras, por meio de interfaces padronizadas, dentro de uma estrutura também padronizada. Estes autores argumentam que a modularização deve ser compreendida dentro da análise de processos de gestão, destacando a sua importância para o estabelecimento de novos produtos orientados para a customização.

Modularidade

A modularidade é uma estratégia de design que é usada por empresas produtoras de diferentes itens, tais como aeronaves, eletrodomésticos, caminhões e carros, computadores e softwares (FREDRIKSSON, 2006). A modularidade refere-se a produtos, processos e recursos que preencham várias funções através da combinação de distintos blocos de construção (Kusiak, 2002).

A modularidade também pode ser definida como uma propriedade do sistema relacionado à modularização (PELEGRINI, 2005 apud BERNARDES; KARLA; COSTA, 2013).

Nunes (2017) apresenta a modularidade como um atributo construtivo do produto, sistema ou processo complexo, relacionado à estrutura e à funcionalidade do mesmo. Segundo este autor, a modularidade pode ser tratada como um sistema de peças independentes ou módulos

integrados com unidades lógicas. Este autor também esclarece que em uma estrutura modular, um módulo implementa apenas uma ou poucas funções principais na sua totalidade, enquanto que, em uma estrutura integral, a funcionalidade está espalhada por todo o produto. A modularidade se refere aos blocos de construção de um sistema ou produto e está intrinsecamente ligada à sua arquitetura.

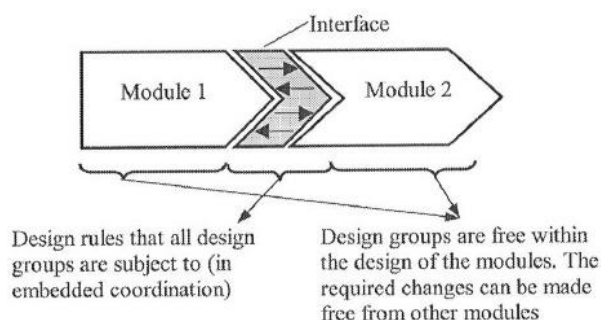
A modularidade é uma consequência do ato de traduzir o produto através de seus módulos funcionais e/ou de manufatura, ou em outras palavras, uma característica do produto que é resultado do ato da simplificação de um produto complexo (VIEIRO; NUNES, 2016).

Starr (2010) definiu modularidade como intercambiabilidade de partes alternativas de um produto. Para este autor, a modularidade continua a ser um conceito fragmentado, talvez porque existem tantos tipos diferentes de aplicação.

Segundo Baldwin e Clark (2000), existem duas ideias suplementares incluídas no conceito geral de modularidade. A primeira é a ideia de interdependência interna e independência externa através dos módulos. A segunda ideia pode ser explicada através de três termos: abstração, informações ocultas e interface. Conforme estes autores, módulos são unidades em grandes sistemas estruturalmente independentes uns dos outros, mas que trabalham juntos. Além disso, modularidade na produção e modularidade em uso são, por vezes, vistos como uma mera consequência do design modular. O sistema como um todo deve, porém, prover uma estrutura – uma arquitetura – que permita para ambos a independência de estrutura e a integração de funções.

A ideia de interdependência interna e independência externa através dos módulos também é apresentada por Asan, Polat e Serdar (2004). Na perspectiva destes autores, a modularidade é uma organização entre componentes de um sistema com coordenação hierárquica embutida, nos quais os componentes, ainda que projetados de forma independente, funcionam como um todo integrado, permitindo que eles sejam separados e recombinaados. Para eles, a modularidade indica o grau em que as “regras” da arquitetura do sistema permitem (ou proíbem) a mistura e correspondência de componentes. Ademais, a implementação de regras de projeto modular forçaria todo o sistema para uma configuração modular, evidenciando esta relação de interdependência, conforme observamos na Figura 1.

Figura 1: A idéia básica da modularidade



Fonte: Asan, Polat e Serdar (2004, p. 30)

Na visão de Shiling (2000), modularidade é um conceito geral de sistemas, isto é, uma descrição contínua do grau com que os componentes podem ser separados e recombinados e se refere a ambos, a aproximação e as interfaces entre os componentes e ao grau com que as regras da arquitetura do sistema possibilitam (ou não) a utilização e a combinação dos componentes.

Pelegriani (2005 apud BERNARDES; KARLA; COSTA, 2013) apresenta cinco tipos de modularidade relacionados ao design de componentes, ressaltando que estes tipos de modularidade não necessariamente implicam o processo de modularização abordado de forma sistemática ou estruturada no setor produtivo. Para este autor, a modularidade pode existir no campo do design, mas a modularização só ocorre dentro de estrutura ordenada que envolva atividade, estrutura ou módulos produtivos.

Módulo

Para Vieiro e Nunes (2016), o conceito de módulo carrega consigo especificações de interface e funcionalidade que possam ser combinados com outros módulos entre si. Esta diferença conceitual, entre módulo e bloco construtivo, consiste em que o módulo carrega mais funcionalidades pertencentes ao produto final (o módulo de força de uma impressora, o qual carrega sua independência dos demais módulos e pode ser testado independente no ambiente de manufatura, por exemplo) que o bloco construtivo (como o tijolo do brinquedo Lego®).

O módulo é uma unidade funcional e autônoma que, a partir de interfaces e conexões padronizadas, permite composições de produtos através de combinações (NUNES; ROCHA; ANTUNES JÚNIOR, 2014 apud VIEIRO; NUNES, 2016).

Em uma estrutura (arquitetura) modular, um módulo é responsável por executar uma ou poucas funções em sua totalidade, diferentemente da estrutura integral de produto na qual várias funções são executadas por um ou poucos módulos (VIEIRO; NUNES, 2016).

Segundo Nunes (2017), todo módulo possui, relativo à definição de um sistema, interfaces normalizadas e conexões que permitem a composição dos produtos por combinações. Nunes destaca que o aspecto funcional do módulo consiste no desenvolvimento de produtos modulares por agrupamento ou por subfunções, com base nas interações funcionais para a geração de módulos funcionais.

Conforme Henriques e Miguel (2017), para definir um módulo do ponto de vista da modularidade do projeto, faz-se necessário decompor o produto em subunidades. Henriques (2013) apresenta em sua dissertação alguns módulos típicos da arquitetura de um automóvel, conforme encontrou na literatura (Figura 2).

Figura 2: Módulos típicos disponíveis na literatura

MÓDULOS TÍPICOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA		
Módulos comumente categorizados no 1º nível da cadeia		
Motor	Para-choques	Eixo dianteiro
Assentos	Painel da porta	Eixo traseiro
Rodas	Carroceria	<i>Rear end</i>
Pneus	Sistema de escape	Iluminação
Portas	Teto	Sistema de direção
<i>Cockpit</i> (painel de instrumentos)	Sistema de combustível	Sistema de câmbio - transmissão
Plataformas	Vidros	Suspensão dianteira
<i>Front end</i>	Pintura	Suspensão traseira
Sistema de refrigeração		Fiação-chicotes
Módulos comumente categorizados em outros níveis		
Cantos de suspensão	Tapeçaria	Peças plásticas
Pedais	Estampados	Sistema de teto-solar
<i>Soft top</i>	Coluna de direção	Acabamento interno
Linhas de combustível e de freios		

Fonte: Henriques (2013, p. 74)

Sonego e Echeveste (2016) argumentam que o termo módulo é amplamente utilizado em contextos diferentes. Associados a esse conceito, estes autores encontraram na literatura

outros termos-chave importantes para o entendimento da modularidade, tais como interface, arquitetura de produto, plataforma de produto, família de produto e customização em massa. Para Sonogo e Echeveste, esses conceitos são fundamentais para o leitor no entendimento das publicações e linguagem relacionadas à área de modularidade de produtos.

Componentes ou peças

Componentes ou peças são os elementos que compõem cada módulo. Nunes (2017) destaca que os módulos são formados com base em características semelhantes entre as propriedades físicas das peças.

Os componentes utilizados em produtos modulares devem ter como característica a capacidade de acoplamento para formar produtos complexos, sob o ponto de vista de arquitetura de produto (VIEIRO; NUNES, 2016).

Abordagens de Projeto de Produto Modular

Nunes (2017) define dois tipos de abordagens a serem considerados em empresas para desenvolver o produto modular: a abordagem Bottom-up (de baixo para cima) e a abordagem Top-Down (de cima para baixo).

Na abordagem Bottom-up, os produtos modulares são formados em funcionalidades e requisitos específicos. Os módulos, que são formados separadamente, não são em comum uns com os outros, mas se caracterizam por aspectos originais ou recursos. Em geral, as funcionalidades de diferentes componentes e/ou peças são analisadas por semelhanças entre eles, para finalmente formar diferentes módulos. Os módulos individuais são então combinados e montados em conjunto para obter os produtos finais. Nessa abordagem, existe a possibilidade de se modularizar parcialmente, pois todos os requisitos podem não se transferir para os módulos, mas ficar com arquitetura integrada lado a lado. Essa seria, então, a formação de arquitetura de produto integral-modular (NUNES, 2017).

A abordagem Top-down começa a partir do requisito básico de um produto ou família de produtos. Todos os requisitos são reunidos e selecionados fora e formulados dentro da arquitetura do produto. Essa arquitetura disponível é estudada e analisada criticamente, para a sua adequação ao projeto de alto nível que transmitiu para a fase de detalhe. Nessa fase, a comunalidade entre elementos de design é classificada para a formação de módulos previstos (NUNES, 2017).

Arquitetura de produto

Sonego e Echeveste (2016) definem que a arquitetura de um produto pode ser dividida em dois tipos: integral e modular. Segundo estes autores, a arquitetura integral é definida como estrutura física em que os elementos funcionais são ligados a um único, ou a um pequeno número, de elementos físicos; ao passo que as arquiteturas modulares possuem subestruturas que têm correspondência de um-para-um com um subconjunto de um modelo funcional de produto.

Segundo Vieiro e Nunes (2016), a arquitetura de produto é a relação entre a estrutura de funções e a estrutura física do produto, ou seja, como o produto, através de suas funções, será construído fisicamente. Para eles, é a forma que as funções do produto (característica abstrata) serão implementadas fisicamente. Estes autores também destacam que a arquitetura de produto se origina na fase conceitual do produto sendo o tema central desta fase do projeto e que os produtos podem ter arquitetura modular, integral ou mista.

Família de produtos

Para Sonego e Echeveste (2016), uma família de produtos é um conjunto de produtos relacionados e derivados de uma plataforma comum para atingir alta variedade externa com o mínimo de variedade interna. Segundo estes autores, o desenvolvimento de família de produtos tem sido reconhecido como um meio efetivo para alcançar a economia de escala a fim de acomodar maior variedade de produtos em diferentes nichos de mercado. Eles destacam que, em uma família de produtos, os módulos que constituem a plataforma e, portanto, se repetem em todos os produtos, conferem a economia de escala, enquanto os demais módulos conferem aos produtos a diferenciação necessária para atender a diferentes usos ou a diferentes segmentos de mercado.

O objetivo de desenvolver uma estrutura de produto modular para uma família de produtos, conforme Krause e Eilmus (2011), é manter a variedade externa exigida pelo mercado e reduzir a variedade interna nas empresas para controlar, reduzir ou evitar a complexidade associada aos processos corporativos de desenvolvimento de novos produtos.

Surge então uma estratégia importante para a estruturação de famílias de produtos que é a plataforma de produto, a qual pode ser vista como uma base comum de componentes, processos, conhecimento, bem como de pessoas ou relações. A plataforma de produto fornece

uma base para que o designer possa derivar variantes de produto de forma eficiente, atendendo às demandas do mercado mais rapidamente (KRAUSE et al., 2014).

Plataforma de Produto

Sonego e Echeveste (2016) definem plataforma de produto como um conjunto comum de módulos compartilhados que é utilizado em todas as variantes de uma mesma família.

As empresas buscam diferenciação em seus produtos e baixos custos de projeto e fabricação para melhorar sua competitividade. Uma abordagem de design baseada em plataforma responde parcialmente a esses problemas promovendo o compartilhamento de módulos, componentes e/ou processo de manufatura para reduzir o custo de cada produto, mas a redução de custos e o aumento da diferenciação são objetivos concorrentes. A redução de custos usando uma plataforma de produto encoraja a comunalidade ou a adoção de utilização de componentes comuns, enquanto a diferenciação requer componentes diferentes para satisfazer cada nicho de mercado (ALIZON; SHOOTER; SIMPSON, 2009).

Uma das mais atuais tendências de estratégia de produtos na indústria automobilística é um interesse renovado em plataformas. Uma estratégia de plataforma de produtos tem vantagens em relação ao custo, posição competitiva e tempo de design. Volumes, estratégias e planos futuros da plataforma de automóveis foram revisados em publicações recentes. Enquanto as plataformas de automóveis (comuns, ou parcialmente comuns, underbodies estruturais) têm sido utilizadas há algum tempo, o interesse corrente tem sido fortemente focado na redução de custos e na redução de complexidade, e inclui uma variedade de definições (HODGES, 2004).

As estratégias da plataforma de produtos têm vantagens e desvantagens, conforme sinaliza Hodges (2004). Segundo este autor, as principais questões da plataforma automotiva incluem economias de escala e perdas potenciais de diferenciação de marca; além de conter preocupações gerenciais como dinâmica organizacional, estratégia, tecnologia e custo e sistemas de suporte. Schuh, Rudolf, Sommer (2016) apresentam os elementos normativos como fatores-chave de sucesso para o desenvolvimento eficiente e efetivo de plataformas de produtos modulares. Para eles, na estrutura organizacional, as funções específicas da plataforma, ou seja, o gerenciador de plataforma, são obrigatórias.

Pirmoradi, Wang e Simpson (2014) argumentam que o desenvolvimento de uma plataforma de produto pode ser afetado pelas famílias de produtos (famílias homogêneas versus famílias heterogêneas, por exemplo) e que nem sempre a estratégia de plataforma será aplicada a todos os tipos de famílias. Conforme estes autores, os estudos nesta área podem ser divididos entre

estudos que abordam a seleção dos módulos, a seleção das plataformas, a comunalidade e a intercambiabilidade de componentes, estudos de otimização, entre outros que explorem comparações e métodos de aplicação. Estes autores defendem também que, em geral, problemas de configuração de plataforma e otimização de portfólio são, em sua maioria, limitados por considerações de custo e modularização baseada em critérios como similaridade de forma e função.

Modularidade de Produto ou Modularidade de Design

A modularidade do produto surge da divisão de um produto em partes independentes (módulos), formadas por componentes com funções específicas. Esta estratégia permite padronizar componentes e criar uma variedade de produtos (HUANG, 2000; CARNEVALLI; MIGUEL; SALERNO, 2013; PIRAN et al. 2016b).

Para obter sucesso em uma estrutura de produto em módulos eficiente, Krause et al. (2014) citam alguns atributos importantes tais como: diferenciação clara entre componentes padrão e componentes variantes; redução dos componentes variantes para a família com propriedades diferenciadoras; mapeamento um-para-um entre propriedades diferenciadoras e componentes variantes; e grau de divisão mínima entre componentes variantes a outros componentes.

A modularidade visa à identificação de modelos independentes, padronizados ou unidades para satisfazer uma variedade de funções (HUANG, 2000). No contexto da padronização dos componentes, o grau de modularização de um produto poderá, então, ser expresso em termos de comunização ou comunalidade (commonality).

Comunalidade

No contexto da modularidade de produto e produção, Jiao, Simpson e Siddique (2007) também estabelecem uma contraposição entre modularidade e comunização ou comunalidade (commonality). Para estes autores, a correlação de modularidade e comunização é incorporada em relações de classe-membro. Por outras palavras, uma classe de produtos (isto é, família de produtos) é descrita por modularidade, enquanto que variantes de produto diferenciam de acordo com a semelhança entre instâncias de módulo (comunalidade). Embora a modularidade se assemelhe à decomposição das estruturas do produto e seja aplicável à descrição de tipos de módulos (produtos), a característica comum (comunalidade) caracteriza o agrupamento de variantes de módulo (produto) semelhantes de um tipo de módulo (produto) específico que é caracterizado por modularidade.

Pirmoradi, Wang e Simpson (2014) defendem que a comunalidade é o caminho para reduzir variações no design de uma família de produtos. Segundo eles, as decisões de aumentar o grau de comunalidade podem levar a economias de custo e alta padronização de linhas de produto.

Segundo Hodges (2004), a definição de plataforma de produto está relacionada à comunalidade e esta similaridade entre os produtos deve considerar a arquitetura do produto. Para Hodges, a comunalidade (ou uniformidade/comunização) pode se referir a componentes, sistemas, processos ou métodos.

Ainda segundo este autor, as tentativas de aumentar a comunalidade em arquiteturas modulares podem, muitas vezes, ser realizadas com pouca perda do caráter distintivo do produto. Nas palavras do autor: “Quando otimizado para o desempenho, as características integrais de um conceito de produto aumentam. Quando otimizado para produção, as características modulares de um produto aumentam” (HODGES, 2004 p. 7).

Pirmoradi, Wang e Simpson (2014) realizaram uma investigação sobre estudos que contemplavam o tema de design da família de produtos e do desenvolvimento de produtos baseados em plataforma. Esta pesquisa revelou alguns aspectos sobre o tema, incluindo abordagens sobre métricas e índices de comunalidade. Alguns dos achados destes autores incluem indicadores que servem como referência para identificar componentes que podem ser comunizados, outros que ajudam a estabelecer uma correlação entre o grau de comunalidade versus o grau de diferenciação, e outros que podem ser utilizados para definir o grau de comunalidade total em uma família de produtos. Pirmoradi, Wang e Simpson (2014) argumentam que um indicador de comunalidade, geralmente, é criado como uma medida para acessar o grau de comunalidade entre componentes de famílias de produtos e podem incluir diferentes parâmetros, tais como número de componentes comuns, custos de componentes, processos de manufatura, entre outros.

A partir dos estudos de Hodges (2004), define-se aqui grau de comunalidade (C), *proxy* de modularidade de produto, considerando a análise das partes comuns e não comuns, estabelecendo-se o seguinte índice:

Grau de Comunalidade do Produto (C) = $100 * \frac{p_{com}}{p_{com} + p_{uniq}}$ onde

p = {peças, componentes, processos de montagem, conexões, localizadores, ...}

p_{com} = porção comum e p_{uniq} = porção não comum

Esse foi o indicador utilizado na etapa de coleta e análise de dados nesta dissertação como unidade representativa da modularidade, tema geral da pesquisa.

Terminologia – Conclusões

Nunes (2017) realizou uma pesquisa bibliográfica sobre modularização, avaliando conceitos, tipologias, abordagens e os impactos nas organizações. Para este autor, a conceituação de modularização está sendo difundida ora como modularidade, ora como modular, ora como módulo. Como resultado deste estudo, Nunes propôs uma hierarquia entre os conceitos de modularização (Vide Figura 3):

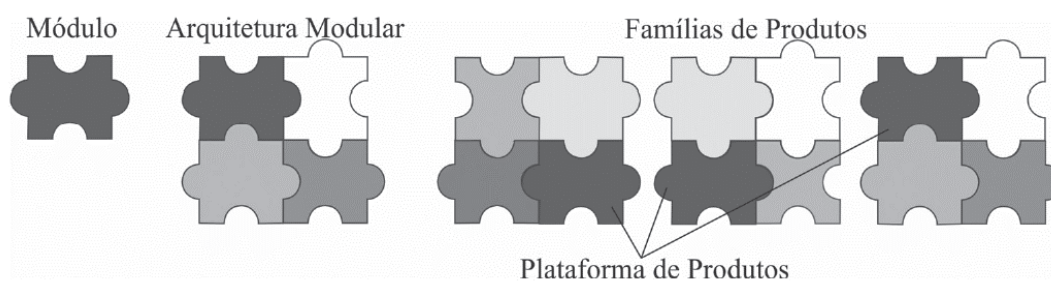
Figura 3: Sistema hierárquico e conceitual da estratégia da modularização

Posição Hierárquica	Conceito	Fundamentação
1o.	Modularização	É a estratégia a ser implantada em toda a organização, a partir dela, serão geradas as diretrizes para os projetos de produtos/sistemas de arquitetura modular.
2o	Modular	É o projeto de arquitetura modular que permite às empresas gerir e desenvolver produtos e sistemas complexos de forma eficiente os decompondo em subsistemas simples ou módulos sem quebrar a integridade do sistema
3o.	Modularidade	É um atributo construtivo do produto / sistema / processo complexo relacionado a estrutura e funcionalidade do mesmo
4o.	Módulo	É uma unidade funcional e autônoma, que a partir de interfaces e conexões padronizadas, permite composições de produtos através de combinações.

Fonte: Nunes (2017, p. 19)

Na Figura 4, estão alguns dos conceitos associados à modularidade que Sonogo e Echeveste (2016) apresentam, de forma gráfica, como um quebra-cabeça. Segundo a visão destes autores, o módulo é uma peça que, combinada a outras peças, forma o produto e uma família de produtos; é um conjunto de produtos formados por algumas peças que se repetem de um produto para o outro, sendo que a peça presente em todas as variantes é a plataforma de produto.

Figura 4: Associação de conceitos relacionados à literatura de modularidade



Fonte: Sonogo e Echeveste (2016, p. 478)

A partir dos estudos avaliados nesta etapa de definição de conceitos e análise de terminologia, foi elaborado um quadro com um resumo de características-chave dos conceitos que foram abordados durante a realização desta dissertação (Quadro 1).

Quadro 1: Terminologia e conceitos relacionados à modularidade

Conceitos	Características-chave	Referências
Modularização (estratégia de gestão)	Estrutura padronizada	Bernardes, Karla e Costa (2013), Vieiro e Nunes (2016)
	Fragmentação de sistemas complexos em estruturas menores	Bernardes, Karla e Costa (2013)
Modularidade (característica de um produto ou processo)	Intercambialbilidade entre componentes diferentes	Henriques e Miguel (2017), Shilling (2000) e Starr (2010)
	Interface entre componentes	Henriques e Miguel (2017), Nunes (2017), Vieiro e Nunes (2016)
	Interdependência entre módulos	Asan, Polat e Serdar (2004), Baldwin e Clark (2000)
Módulo (unidade funcional que permite diferentes composições de productos através de diferentes combinações)	Interfaces e conexões padronizadas	Vieiro e Nunes (2016)
Comunalidade (propriedade de componentes de produtos modulares)	Padronização e Intercambiabilidade de componentes	Hodges (2004), Pirmoradi, Wang e Simpson (2014)
Plataforma (conjunto de módulos compartilhados em conjunto e utilizados em variantes de uma mesma família de produtos)	Intercambiabilidade de componentes	Pirmoradi, Wang e Simpson (2014)
	Padronização	Hodges (2004), Schuh et al. (2016)

Fonte: Elaborado pela autora

2.2 MODULARIDADE E ESTRATÉGIA COMPETITIVA

Para obter sucesso em seus negócios, as organizações como um todo precisam buscar estabelecer formas de obter vantagem competitiva em seus processos, ou seja, estabelecer capacidades competitivas intraorganizacionais que levem a resultados efetivos extraorganizacionais. Aaker (2007) enfatiza que ter vantagens competitivas sustentáveis (VCSs) é crucial para o sucesso de longo prazo. Sem elas, uma empresa acabará afundando, se é que sobreviverá. Segundo este autor, as VCSs precisam ser baseadas em ativos e competências organizacionais.

Segundo Slack (2002), a estratégia de manufatura conecta as ambições da indústria com o que ela pode fazer para realiza-las; através disso, ela faz uma conexão entre as suas atividades estratégicas e operacionais. As várias atividades da Manufatura – tecnologia, desenvolvimento e organização, e rede de suprimentos – são as formas pelas quais os recursos são gerenciados para atingir níveis perfeitos de desempenho. Neste contexto, estes autores definem cinco objetivos do desempenho que as operações de manufatura estão tentando atingir para serem competitivas: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custos.

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) destacam nove dimensões competitivas amplas, dividindo-as em quatro grupos que correspondem aos mesmos objetivos de desempenho definidos por Slack (2002):

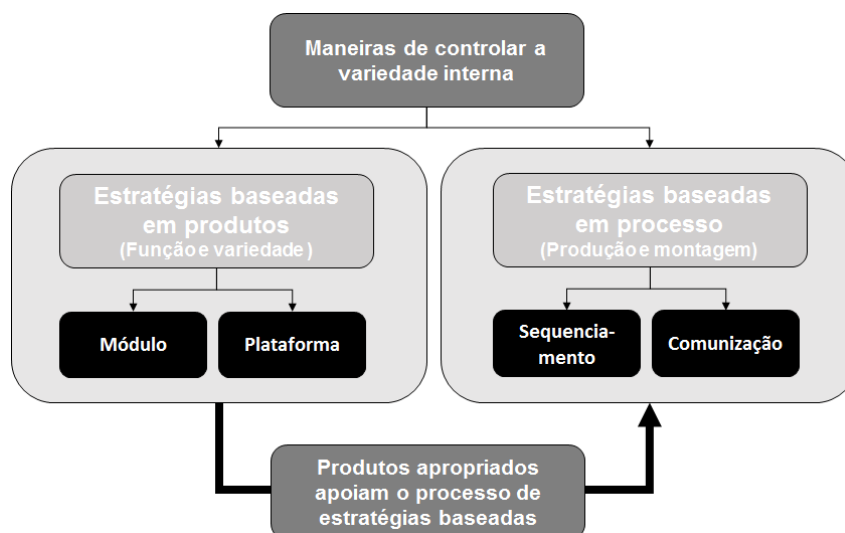
Quadro 2: Dimensões competitivas adotadas pelas empresas de manufatura

Objetivo de Desempenho (Prioridade competitiva)	Dimensão de desempenho (Capacidade competitiva)
Custo	Operações de baixo custo
Qualidade	Qualidade superior
	Qualidade consistente
Tempo	Rapidez da entrega
	Entrega no prazo
	Velocidade de desenvolvimento
Flexibilidade	Personalização
	Variedade
	Flexibilidade de volume

Fonte: Adaptado de Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009)

Krause e Eilmus (2011) argumentam que as estratégias competitivas podem ser consideradas a partir da visão do produto (da perspectiva da função e da variedade) ou a partir da visão da produção (na perspectiva relacionada aos processos produtivos e de montagem). Na estratégia baseada em produto, são avaliadas as possibilidades de desenvolver estruturas de produto modulares (arquitetura modular para uma família de produtos) ou utilizar a estratégia de plataformas padronizadas (uma ou mais plataformas básicas aplicadas a uma família de produtos), reduzindo a complexidade e aumentando a possibilidade de comunização (ou comunalidade entre peças). Uma estrutura de produto modular adaptada aos objetivos corporativos permite a orientação para estratégias de processo de redução da complexidade, uma vez que estão intimamente relacionadas com a estrutura do produto. Nas estratégias baseadas em processo, a comunização é o método no qual se utilizam os mesmos processos para produtos diferentes e estratégia de produção em lotes, possibilitando uma maior variedade de processos, independente da variação das famílias de produtos. A Figura 5 apresenta uma visão geral destas estratégias.

Figura 5: Estratégias de produto e processo para reduzir variedade interna



Fonte: Adaptado de Krause e Eilmus (2011, p. 38)

Lau, Yam e Tang (2007) desenvolveram um estudo quantitativo sobre modularização de produto com 251 organizações chinesas explorando o impacto de produtos modulares em cinco capacidades competitivas de manufatura: preço do produto, qualidade de produto, atendimento ao cliente, flexibilidade e entrega. Os resultados indicaram que a modularidade do produto influencia as capacidades de entrega, flexibilidade e serviço ao cliente, sendo que as capacidades de entrega e flexibilidade se relacionam positivamente com a performance do

produto. As hipóteses de relação positiva entre preço baixo/qualidade do produto e modularização de produto foram refutadas. Estes autores argumentam que, segundo as suas descobertas, o projeto de produto modular não pode melhorar cada capacidade competitiva de entrega, flexibilidade e serviço ao cliente simultaneamente, como, segundo eles, sugere a literatura existente.

Kusiak (2002) apresenta alguns benefícios da modularização tais como: economia de escala, aumento de viabilidade para modificações de produtos/componentes, aumento de variedade de produtos, redução de tempo de entregas e produção, dissociação de riscos e facilidade para determinar diagnósticos de produção, manutenção, reparo e descarte. Alguns autores (SALERNO, 2000; CORRÊA, 2001; DI SERIO et al., 2002; JACOBS; VICKERY; DROGE, 2007; SACOMANO NETO; TRUZZI, 2009; CARNEVALLI; MIGUEL; SALERNO, 2013; PIRAN et al., 2016b) destacam o benefício da redução do tempo de produção e entrega como uma vantagem competitiva da modularização para a estratégia de redução de custos de produção.

Jacobs, Vickery e Droge (2007) desenvolveram um estudo quantitativo sobre modularidade de produto e performance competitiva considerando estes quatro aspectos do desempenho competitivo: custo, qualidade, flexibilidade e tempo de ciclo de produto. Os autores investigaram 57 organizações americanas do setor automotivo. Através desta pesquisa, encontraram que a modularidade influencia positivamente e diretamente cada aspecto do desempenho competitivo para cada estratégia de integração testada. Também foram encontrados efeitos indiretos para cada estratégia de integração para custo e flexibilidade; e para integração de fabricação e tempo de ciclo.

Na perspectiva da produção, considerando modularidade do produto e integração de manufatura, o estudo destes autores apresentou resultados de correlação positiva com as performances competitivas de custo, flexibilidade e tempo de ciclo de produto. Na perspectiva do produto, a modularidade do produto mostrou correlação positiva com as performances competitivas de custo e flexibilidade apenas. Na perspectiva do relacionamento com os fornecedores, os resultados foram semelhantes à perspectiva de produto, sendo que a modularização do produto mostrou correlação positiva com as performances competitivas de custo e flexibilidade. A vantagem de qualidade não foi evidenciada quando comparada à estratégia de modularização do produto em nenhuma das perspectivas estudadas.

Danese e Filipini (2010) desenvolveram um estudo quantitativo sobre modularização de produto e o seu impacto na performance de desenvolvimento de novos produtos com 186 empresas industriais de diversos setores. Segundo estes autores, uma arquitetura de produto modular facilita e acelera as mudanças e atualizações do produto ao longo do seu ciclo de vida, isto porque a modularidade permite a identificação fácil e rápida de um ou mais módulos que devem ser alterados para melhorar o desempenho do produto ou para adicionar uma característica de produto adicional. De fato, a pesquisa de Danese e Filipini (2010) evidenciou que a modularidade do produto está positivamente relacionada ao desempenho do tempo de desenvolvimento de novos produtos.

A redução do tempo no desenvolvimento de novos produtos pode ser um indicador da vantagem competitiva de custo relacionada à modularização. Segundo Lau, Yam e Tang (2007), a concepção de produtos representa 70% do custo total do seu ciclo de vida e as decisões sobre este determinam a maior parte do custo de desenvolvimento. Para estes autores, a arquitetura do produto é uma das decisões importantes no design do produto, pois se trata de um esquema de definição e organização de elementos funcionais do produto nos atributos físicos, e um plano para projetar a interação entre esses atributos. “A modularidade do produto pode ser a parte mais importante para determinar como configurar a arquitetura do produto”, afirmam estes autores (LAU; YAM; TANG, 2007, p. 2).

Danese e Filipini (2010) argumentam que a modularidade do produto pode alterar a maneira como as fases detalhadas de concepção e teste do NPD são geridas e organizadas. Nessas fases, a tarefa de projeto geral pode ser dividida em tarefas menores para desenvolvimento paralelo. De fato, se a função de um módulo for particularmente especificada e a interface entre o módulo e o resto do produto estiver completamente caracterizada, então a concepção e o teste detalhados desse módulo podem ser atribuídos a uma entidade separada. Uma consequência esperada, então, seria a redução de custos com NPD.

A modularização do projeto de produto leva a uma alocação mais eficiente dos recursos, por meio da economia de escala lead time de ordem reduzida e mecanismos de controle simplificados. Ela permite a melhoria da flexibilidade e as empresas tornam-se ágeis, possibilitando uma maior rapidez na atualização dos produtos. Esta eficiência deixa mais recursos dentro da empresa, especialmente em termos de conhecimento e de gestão pericial, que são recursos necessários para o desenvolvimento de novos produtos (BERNARDES; KARLA; COSTA, 2013).

Danese e Romano (2004) defendem que a modularidade é considerada uma abordagem útil para aumentar a comunalidade entre diferentes variantes de produtos. Segundo estes autores, a comunalidade do componente apresenta algumas características de desempenho benéfico como planejamento e programação simplificados, custos de instalação e retenção mais baixos, menor estoque de segurança, redução da incerteza do lead time do fornecedor e economias de quantidade do pedido. Além disso, para estes autores, a modularidade do produto pode simplificar as atividades de projeto, alinhando assim a necessidade de vendas de produtos em constante mudança e a meta de engenharia de reduzir o número de componentes sujeitos a reformulação.

Nesse contexto, Fisher, Ramdas e Ulrich (1999) argumentam que cada novo componente geralmente requer investimento em ferramentas e também pode ter algum impacto em custos de produção, mas os custos associados ao desenvolvimento de produto (NPD) podem ser reduzidos pelo compartilhamento de peças. Conforme estes autores, uma vez que cada componente novo precisa ser desenvolvido e testado, a comunalidade de uma peça em produtos diferentes reduzirá o custo de desenvolvimento e poderá também impactar em redução de custos nos testes a serem realizados.

Por todos estes argumentos, verificamos então que a modularidade, bem como a comunalidade de componentes ou peças, apresentam-se como estratégias-chave para a competitividade das organizações industriais, uma vez que podem contribuir tanto para a redução dos custos operacionais quanto para os custos do desenvolvimento de novo produtos.

2.3 CATEGORIZANDO A MODULARIZAÇÃO DE PROJETO DE PRODUTO

A partir dos escritos de vários autores sobre o tema modularidade, foi possível estabelecer algumas correlações entre as suas perspectivas e argumentos, construindo duas visões básicas sobre modularização que serviram como ponto de partida para categorizar o tema. A primeira visão, do ponto de vista estratégico, aborda a modularidade a partir de seis diferentes categorias: (1) Modularidade de projeto ou design (MID), (2) Modularidade de produção (MIP); (3) Modularidade de processos organizacionais ou da Cadeia de Suprimentos (MIL), (4) Modularidade de uso (MIU), (5) Modularidade em Serviços (MIS) e (6) Modularidade em Meio ambiente (MIE). A segunda visão, do ponto de vista da engenharia, aborda a modularidade nos termos da arquitetura de produto, considerando as perspectivas hierárquica,

sistêmica e a perspectiva de ciclo de vida ou de desenvolvimento de novos produtos (NPD). No Quadro 3, é possível ver uma descrição dos tipos de modularidade segundo a visão estratégica e, no Quadro 4, detalha-se a modularidade segundo a visão de engenharia.

Quadro 3: Tipos de Modularidade – Visão Estratégica

Categoria	Características	Referências
Modularidade de projeto de produto ou design (MID)	Consiste em projetar produtos modulares definindo os módulos (subconjuntos), suas funções e interfaces.	Huang (2000), Carnevalli, Miguel e Salerno (2013), Piran et al. (2016b)
Modularidade de produção (MIP)	Consiste em simplificar os processos de fabricação e de montagem definindo módulos para a produção e facilitando as configurações do produto final; podendo ou não transferir alguma dessas atividades para os fornecedores.	
Modularidade de processos organizacionais ou da Cadeia de Suprimentos (MIL)	Envolve alterações de procedimentos organizacionais e do relacionamento da empresa com seus fornecedores, para adotar a produção modular.	Carnevalli, Miguel e Salerno (2013), Piran et al. (2016b)
Modularidade de uso (MIU)	Consiste na customização em massa onde é feita a compatibilização do produto com outros acessórios para atender os requisitos dos clientes.	
Modularidade em Serviços (MIS)	Relaciona-se com o suporte técnico dados aos consumidores após a distribuição dos produtos pós-vendas. Seus efeitos podem ser discutidos em relação a 4 níveis: serviços prestados, processos; nível organizacional e nível de rede (interface com o consumidor).	Piran et al. (2016b)
Modularidade em Meio ambiente (MIE)	Estuda os aspectos de inovação de produto, reaproveitamento de produto, disposição de produtos, isto tudo sob uma perspectiva ambiental.	

Fonte: Elaborado pela autora

A modularidade de projeto de produto, ou de design (MID), é o foco deste estudo.

Para Krause e Eilmus (2011), a maior vantagem da estratégia de produto estruturado em módulo é a grande quantidade de módulos padronizados que contribuem para a redução de custos. As estruturas modulares oferecem a oportunidade de realizar processos em paralelo, como o desenvolvimento de diferentes módulos ao mesmo tempo ou a realização de testes em produção em momentos diferentes.

Segundo Jiao, Simpson e Siddique (2007), uma família de produtos refere-se a um conjunto de produtos similares que são derivados de uma plataforma comum e ainda possuem características específicas/funcionalidade para atender às necessidades particulares do cliente. A interpretação das famílias de produtos depende de perspectivas diferentes. A partir da perspectiva de marketing e de vendas, a estrutura funcional das famílias de produtos exibe a linha de produtos de uma empresa ou portfólio de produtos e, portanto, é caracterizada por vários conjuntos de funcionalidades para diferentes grupos de clientes. A visão de engenharia das famílias de produtos incorpora diferentes tecnologias de produto e a manufaturabilidade associada e, assim, é caracterizada por vários parâmetros de projeto, componentes e estruturas de montagem, conforme veremos a seguir (Quadro 4).

Nunes (2017) expõe que os benefícios da modularização nas organizações podem ser em relação à funcionalidade dos produtos, desenvolvimento de produtos, produção, cadeia de fornecimento, processos e outros elementos. Em relação à modularidade de projeto de produto, este autor defende que a flexibilidade deste tipo de design permite atrasar as decisões de projeto, até que mais informações estejam disponíveis, sem atrasar o processo de desenvolvimento do produto como um todo. Além disto, este autor também cita que a comunalidade de peças traz o benefício da redução da variabilidade de componentes cujos ganhos não estão somente nos números de part numbers, mas também em custos menores de estoques, menor capital de giro empregado para a manutenção de estoques e menores recursos de fabricação.

Quadro 4: Classificação da Modularização segundo a Visão de Engenharia

Categoria	Características	Subcategoria	Referências
Perspectiva hierárquica	A análise se concentra nas relações entre os módulos e suas funções, incluindo também a independência das interfaces entre os módulos	Arquitetura de produto integral	Huang (2000), Lacerda (2004), Hodges (2004), Jiao, Simpson e Siddique (2007), Piran et al. (2016a)
		Arquitetura de produto modular	Shilling (2000), Lacerda (2004), Hodges (2004), Jiao, Simpson e Siddique (2007), Howard e Squire (2007), Mcdermott, Mudambi e Parente (2013)
Perspectiva sistêmica	Modularização funcional - a interação é exibida pela relevância das funções dos módulos em diferentes grupos de clientes.		
	Modularização técnica - a modularidade é determinada de acordo com a viabilidade tecnológica de soluções de projeto.		
	Modularização física - as interações físicas derivadas da manufacturabilidade se tornam a principal preocupação		
Perspectiva de ciclo de vida ou Perspectiva de projetos (NPD)	A modularidade é definida a partir da etapa de vida do produto, processo ou organização. Envolve os conceitos de famílias de produtos e plataformas.	Produto de design global usando uma plataforma recém-desenvolvida (padronização global)	Sanches e Mahoney (1996), Muffato e Roveda (2000), Salerno (2001), Lacerda (2004)
		Produto de design local usando uma plataforma recentemente desenvolvida	
		Produto de design global usando a plataforma antiga	
		Produto de design local usando a plataforma antiga	

Fonte: Elaborado pela autora

Para Henriques e Miguel (2017), a modularidade de projeto refere-se ao desenvolvimento de uma estratégia para novos produtos em que as interfaces entre os componentes compartilhados em uma determinada arquitetura de produto são especificadas e padronizadas para possibilitar maior possibilidade de substituição de componentes entre as famílias de produtos. Para eles, neste tipo de modularidade, o design do produto deve ser pensado de forma que exista um nível de interdependência maior entre os componentes, em que as

interfaces entre os diferentes componentes são bem especificadas e padronizadas, mas definidas por uma empresa forte na cadeia. No estudo destes autores, cinco elementos conceituais relacionados com a modularidade de projeto de produto foram definidos: compatibilidade, independência, comunalidade, intercambialidade e divisão de produtos, segundo uma estrutura funcional. Um resumo destes conceitos é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Elementos conceituais (constructos) em modularidade de design

Relações entre os módulos	Descrição
Compatibilidade ou interfaces padronizadas de componentes	Para atender a uma família de produtos as interfaces são conexões compartilhadas entre os componentes e as especificações da interface definem o protocolo para interações.
Intercambiabilidade ou "combinabilidade" dos componentes	Nos produtos modulares, diferentes configurações de produtos podem ser obtidas misturando e combinando componentes de um determinado conjunto.
Compartilhamento ou comunalidade	A presença de peças comuns nos módulos permite o compartilhamento destes módulos entre diferentes produtos.
Independência	Um sistema pode ser desmembrado em unidades menores ou módulos que podem ser desenvolvidos independentemente.
Divisão da estrutura do produto em funções	Descreve o produto em termos das funções que ele executa e como essas funções estão relacionadas. É como um mapeamento de funções para os componentes físicos.

Fonte: Adaptado de Henriques e Miguel (2017)

No contexto da modularidade de projeto de produto (MID), a comunalidade é a característica-chave que foi considerada neste estudo, como um dos constructos da pesquisa.

Sonego e Echeveste (2016) citam, entre os benefícios da abordagem de produto modular, o desenvolvimento mais rápido de produtos, a redução do custo de desenvolvimento de produtos futuros e a utilização do mesmo módulo em múltiplos produtos, permitindo variedade; além de outros aspectos como economia de escala, economia de custos com estoque e logística, flexibilidade na reutilização de componentes, redução do tempo de montagem e do tempo de produção e fabricação de módulos em paralelo.

Entre os benefícios da modularidade de produto, Bernardes, Karla e Costa (2013) relatam a possibilidade de um ciclo de vida de produto mais longo por meio da reciclagem, manutenção, reutilização e atualização dos componentes. Neste sentido, Vieiro e Nunes (2016) destacam que a modularidade possibilita a redução no custo do ciclo-de-vida através da redução de processos.

Considerando o segmento automotivo, foi realizada uma revisão da literatura e de artigos acadêmicos que versam sobre o tema modularidade, o estudo identificou um total de 55 trabalhos de diversos segmentos de negócio e abordagens de pesquisa, sendo avaliados qualitativamente, na etapa de compilação dos dados, 23 destes trabalhos pertinentes ao setor automobilístico. A partir dos casos estudados nos documentos analisados, os benefícios da modularização mais citados foram reduzir os custos e aumentar a produtividade e a qualidade, seguidos de compartilhar informações, riscos e recursos; melhorar o processo e a performance; possibilitar o envolvimento de fornecedores no processo; como podemos verificar na Figura 6.

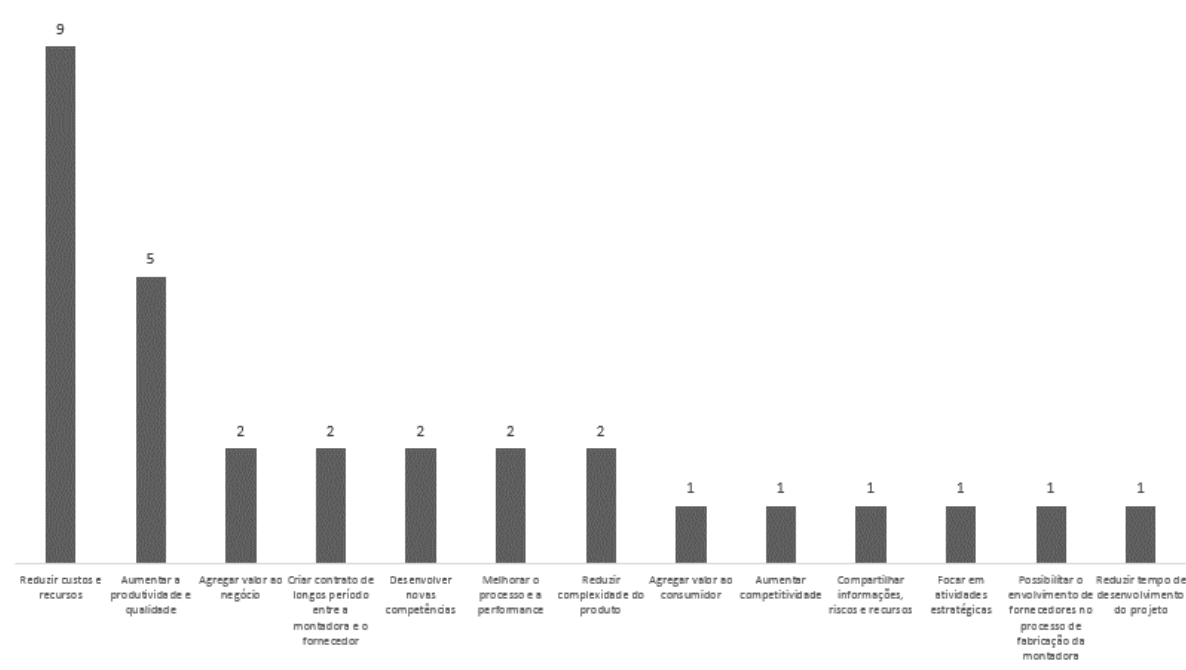
Figura 6: Benefícios da Modularização



Fonte: Elaborado pela autora

Considerando a perspectiva estratégica, a modularização de produto dentro dos contextos da modularização de produção (MIP) e de Design (MID), no segmento automotivo, a revisão de literatura levou à identificação de um indicador que serviu como referência para análise da capacidade competitiva: redução de custos (Figura 7).

Figura 7: Benefícios da Modularização de Produto (contexto MID/MIP)



Fonte: Elaborado pela autora

Em relação aos custos, Jacobs, Vickery e Droge (2007) anunciam que os benefícios da modularidade do produto para a redução de custos foram apresentados na literatura e os resultados do estudo que eles realizaram não apenas substanciam essas afirmações, mas também fornecem informações úteis sobre a natureza exata da influência da modularidade do produto. Segundo estes autores, os resultados do seu estudo indicam que a modularidade do produto tem efeitos diretos e indiretos no custo, e que os efeitos indiretos operam através da integração de fornecedores, integração de projeto e integração de fabricação. A conclusão de Jacobs, Vickery e Droge (2007) foi que, embora uma empresa obtenha reduções de custos de uma estratégia de modularidade de produto por si mesma, economias adicionais de custos serão obtidas com a implementação simultânea de estratégias e/ou práticas destinadas a integrar funções e atividades no projeto, fabricação e/ou gerenciamento de suprimentos.

Pirmoradi, Wang e Simpson (2014) explicitam que índices de comunalidade têm sido desenvolvidos para prover informações sobre os ganhos de custo associados à comunalidade de peças.

Khire et al. (2008) sinalizam que quantificar os benefícios da comunalidade é importante para tomar decisões comuns; no entanto, reconhecem que essa quantificação é extremamente difícil na prática. Assim, estes autores argumentam que os índices de comunalidade são normalmente usados como substitutos para qualificar a economia de custos resultante. Um índice de comunalidade típico, segundo eles, é uma função do número de componentes/montagens/processos de fabricação que são comuns em diferentes produtos da família.

Alguns autores sugerem que a arquitetura de produto modular pode melhorar os processos de NPD e impactam positivamente no tempo de desenvolvimento de novos produtos (DANESE; FILIPPINI, 2010; PIRAN et al., 2016b). A ausência de estudos que avaliem as consequências da comunalidade de produto no desempenho das empresas automotivas brasileiras que desenvolveram projetos de produto com arquitetura modular levou à questão norteadora desta pesquisa.

A partir das vantagens da modularidade de design que foram identificadas, a redução de custos foi selecionada como ponto de partida deste estudo, considerando o contexto de projeto de um novo produto. A variável custo, medida através do desempenho da engenharia de desenvolvimento de produto, foi selecionada como indicador de referência. Portanto, de acordo com as evidências obtidas na literatura, descritas nos últimos dois subtópicos (2.2 e 2.3), o presente estudo se propõe a confirmar a seguinte hipótese geral:

Hipótese Geral: Um maior grau de comunalidade de peças (ou componentes) leva a menores esforços de engenharia de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD).

Para confirmar esta hipótese foi escolhido como campo de pesquisa o contexto de uma indústria automotiva brasileira cujos produtos seguem a estratégia de arquitetura modular, considerando seus respectivos custos de desenvolvimento (medido através da dimensão dos custos de hora homem de engenharia). A fim de verificar se a hipótese pode ser confirmada ou refutada as seguintes sub hipóteses são propostas:

Sub Hipótese 1 (H1): O índice de custo de um projeto derivado dividido pelo custo do projeto de plataforma que o originou é menor no caso de duplas de projetos em que o grau de comunalidade é maior.

Sub Hipótese 2 (H2): O custo de um projeto de plataforma subsequente, em que há comunalidade de partes com um projeto de plataforma anterior, é menor.

2.4 ASSOCIAÇÃO ENTRE MID E COMUNALIDADE DE PARTES

A diferenciação de produtos é um importante indicador de sucesso no mercado global onde procura-se oferecer produtos competitivos e altamente diferenciados. Mas a diferenciação é restrita pelo design de produtos baseados em plataforma que compartilham módulos e/ou componentes. Não é fácil diferenciar produtos em um mercado que muitas vezes é sobrecarregado por inúmeras opções. Uma abordagem baseada em plataforma pode ser arriscada porque a concorrência no mercado global pode se tornar uma competição interna entre produtos similares dentro da família, caso não haja diferenciação suficiente na família. Assim, o objetivo da plataforma de produtos é compartilhar elementos para funções comuns e diferenciar cada produto da família, satisfazendo diferentes necessidades específicas (ALIZON; SHOOTER; SIMPSON, 2009).

Plataforma de produtos e estratégias de comunalidade são elementos fundamentais de uma estratégia de desenvolvimento de produto competitivo na indústria automobilística. Estratégias de plataforma podem ser definidas para componentes/sistemas, fabricação, equipes de desenvolvimento de produto e capacidade/conhecimento da empresa. Em uma típica família de produtos de um conjunto de produtos que compartilham componentes comuns e/ou módulos, o compartilhamento de componentes apresenta algumas vantagens como economias de escala, redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos, redução no estoque de produção, redução nos processos de fabricação e complexidade dos serviços e aumento da qualidade do produto devido à menor variedade de peças.

A partir de uma perspectiva de negócios, essas vantagens podem ser atreladas ao baixo custo de produtos ou ao aumento da rentabilidade de uma linha de produtos. Contudo, estas vantagens devem ser cuidadosamente ponderadas, considerando as desvantagens potenciais da comunalidade. Talvez, a maior desvantagem da comunalidade seja a redução na falta de diferenciação do produto, isto porque, à medida que mais componentes são compartilhados, torna-se difícil diferenciar entre as variantes do produto no mercado. Além disso, o desempenho individual do produto pode se degradar significativamente devido à semelhança, resultando na perda de parte de mercado (KHIRE et al., 2008).

Nesse contexto, um designer de família de produtos deve, portanto, cuidadosamente equilibrar o tradeoff entre semelhanças (comunalidade) e diferenciação do produto. Mais de 40 abordagens baseadas em otimização foram propostas para ajudar a resolver este tradeoff.

Essas abordagens podem ser geralmente categorizadas em uma das três estratégias de design da família de produtos: (1) selecionar a plataforma primeiro e depois otimizar a plataforma e produtos individuais, (2) otimizar os produtos individuais primeiro e depois selecionar a plataforma, o que causa a perda mínima de desempenho com a economia máxima comum e (3) selecionar simultaneamente a plataforma, otimizando a plataforma e os produtos individuais (KHIRE et al., 2008).

No caso estudado nesta pesquisa, verificou-se que a estratégia escolhida foi a primeira, em que os produtos foram desenvolvidos subsequentemente àquele definido como plataforma inicial. Há vantagens e desvantagens para cada uma das estratégias, sendo que a estratégia (1) requer uma seleção prévia da plataforma, como foi o caso da empresa estudada nesta pesquisa. Normalmente, essa seleção é baseada em experiência e, frequentemente, não são utilizados processos sistemáticos de seleção (KHIRE et al., 2008).

A modularidade de produto pode ser abordada dentro de uma perspectiva hierárquica, na qual também é possível estabelecer algumas categorias. Considerando a arquitetura de produto modular, no contexto de plataformas e famílias de produtos, sabe-se que a modularidade apresenta-se interrelacionada com o conceito de comunalidade ou comunização de peças, sendo possível definir seis categorias (Quadro 6):

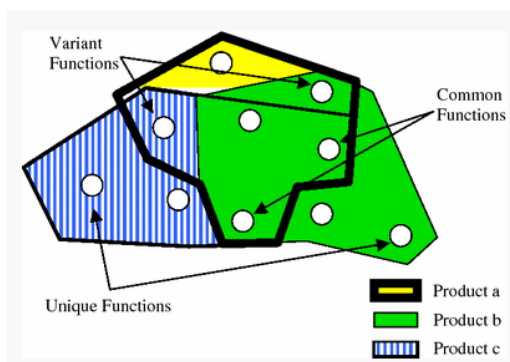
Quadro 6: Categorias de comunalidade de peças em Projetos de Produtos com arquitetura modular

CATEGORIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	REFERÊNCIAS
Por compartilhamento (<i>component sharing</i>)	Um mesmo componente é relacionado com múltiplos produtos.	Huang (2000), Muffato e Roveda (2000), Kusiak (2002), Jiao, Simpson e Siddique (2007)
Por permuta de componentes (<i>component swapping</i>)	Diferentes componentes podem ser emparelhados em um mesmo produto base.	
Por ajuste de componentes (<i>fabricate-to-fit</i>)	As dimensões de um ou mais componente variam de acordo com as necessidades do cliente.	
Bus	É empregada uma estrutura base que pode receber diferentes tipos de componentes (flexibilização de processo e produto).	
Seccional (<i>sectional modularity</i>).	Estrutura os componentes em seções, possibilitando uma ampla variedade de configurações entre os diferentes tipos de componentes e o maior nível de customização possível.	
Por Mix	Os componentes são combinados para se obter o máximo de comunização possível.	

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 8 ilustra o compartilhamento de componentes dentro de uma família de produtos. Nesta figura, as funções comuns são as mesmas para todos os produtos, as funções variantes são as mesmas, mas os atributos são diferentes e as funções exclusivas são específicas para um produto individual. Além disso, ilustra os objetivos funcionais, em que a funcionalidade comum é obtida a partir do uso de componentes comuns, a funcionalidade única é obtida pelo uso de componente(s) único(s) e as funções variantes usam componentes variantes na mesma proporção (ALIZON; SHOOTER; SIMPSON, 2009).

Figura 8: Ilustração de uma família de produtos compartilhando funções



Fonte: Alizon, Shooter e Simpson (2009, p. 1)

Neste estudo, foi abordada comunalidade por compartilhamento como constructo de análise, considerando um mesmo componente relacionado com múltiplos produtos (uma família) de uma mesma plataforma.

O entendimento do cenário atual da organização industrial selecionada através de uma análise dos seus processos/práticas e a verificação/comparação dos seus resultados é fundamental para entender se a comunalidade de partes entre projetos de produtos de veículo com arquitetura modular representa vantagem competitiva de redução de custos.

Por meio desta dissertação, foi possível realizar a caracterização de uma montadora brasileira que adotou a estratégia de modularidade de produto, em relação ao seu desempenho operacional, considerando a vantagem competitiva de custo (horas-homem de engenharia) e a sua correlação com o grau de comunalidade (C) de partes entre diferentes modelos. Como observado nos itens anteriores deste capítulo, existem poucas pesquisas quantitativas sobre o tema, especialmente no universo das automotivas brasileiras, evidenciando que a realização de estudos empíricos sobre comunalidade de produto ainda é pertinente.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA

Para o desenvolvimento de uma pesquisa acadêmica, faz-se necessária uma etapa inicial de planejamento na qual os procedimentos a serem adotados para a realização do estudo serão escolhidos em função do método científico utilizado, o qual, por sua vez, depende do objeto e dos objetivos da pesquisa desenvolvida. Como Quivy e Van Campenhoudt (2005) informam, nos processos de investigação em Ciências Sociais, o que importa é que o investigador seja capaz de conceber e de pôr em prática um dispositivo para a elucidação do real, no seu sentido mais lato, um método de trabalho.

Sendo assim, neste capítulo, são abordadas as escolhas teóricas e metodológicas que nortearam este estudo, bem como os instrumentos de investigação, objetos de estudo investigados, população amostrada, técnicas utilizadas para análise dos dados coletados e etapas da pesquisa.

3.1 PERSPECTIVAS EPISTEMOLÓGICAS

A epistemologia proporciona um pano de fundo filosófico para decidir quais os tipos de conhecimento são legítimos e adequados (GRAY, 2012). Desta forma, epistemologicamente, este estudo, ao buscar entender o fenômeno da modularidade presente nestes modelos de gestão do desenvolvimento de produtos, possui um caráter objetivista, pois visou comprovar a hipótese da pesquisa como uma realidade objetiva a partir da análise de dados reais, isto é, a correlação entre a variável independente comunalidade e a variável dependente custo de engenharia de uma montadora de veículos brasileira. Como Gray (2012) explica, a epistemologia objetivista sustenta que a realidade existe, independentemente da consciência. Neste sentido, o fenômeno da modularização é uma realidade no contexto das organizações

industriais automotivas e o que se pretendeu aqui foi analisar um dos aspectos deste fenômeno.

3.2 PERSPECTIVAS TEÓRICAS

Segundo Gray (2012), uma perspectiva teórica intimamente relacionada ao objetivismo é o positivismo. A essência do positivismo apresentada por este autor traz que a realidade consiste no que está disponível aos sentidos, isto é, pode ser vista, tocada, etc.; e que a investigação deve se basear na observação científica e não na especulação filosófica. Ele também argumenta que adotar uma postura positivista implica que os resultados da pesquisa tendem a ser apresentados como fatos objetivos e verdades estabelecidas.

A questão da competitividade agregada às montadoras brasileiras pela adoção da estratégia de produto modular, bem como a perspectiva de relacionar numericamente este modelo a fatores de sucesso faz com que este estudo assuma um caráter fortemente positivista, já que busca entender como este fenômeno ocorre no contexto da modularidade de produto.

Gray (2012) destaca que, ao escolher o paradigma positivista, o pesquisador deve concentrar-se em fatos, formular e testar hipóteses e identificar a causalidade entre variáveis (ou seja, usar uma abordagem metodológica dedutiva). Este estudo, ao abordar esta perspectiva teórica, buscou analisar a correlação entre a variável independente comunalidade e a variável dependente custo de engenharia, e, a partir desta análise, testar a hipótese de pesquisa.

3.3 ABORDAGEM DA PESQUISA

O entendimento do cenário atual da organização selecionada através de uma análise dos seus processos/práticas e a verificação/comparação dos seus resultados é fundamental para entender se a modularidade do produto representa vantagem competitiva como inovação no processo de gestão da produção e se a comunalidade de partes representa uma vantagem competitiva de redução de custos de engenharia de desenvolvimento de novos produtos (NPD).

Considerando as escolhas filosóficas envolvidas no processo de construção deste estudo, foi utilizado o método hipotético-dedutivo no qual, segundo Quivy e Van Campenhout (2005), a construção parte de um postulado com modelo de interpretação do fenômeno estudado. Ainda segundo estes autores, este método gera, através de um trabalho lógico, hipóteses, conceitos e indicadores para os quais se terão de procurar correspondentes no real.

De fato, as etapas de desenvolvimento deste estudo seguiram esta lógica. Primeiro, na etapa de revisão teórica sobre o fenômeno da modularização, a hipótese de investigação foi definida, bem como os construtos de investigação – indicadores a serem investigados em campo. Em seguida, procedeu-se à pesquisa de levantamento de dados relativos aos constructos comunalidade e horas de desenvolvimento de engenharia, relativo à montadora investigada. Com posse dos dados, partiu-se para a análise dos dados a fim de confirmar a hipótese levantada e responder à questão nortadora da pesquisa.

Como estratégia de pesquisa, assumiu-se também neste estudo uma abordagem pragmática (MORGAN, 2007), em que se pretende estabelecer a conexão entre a teoria e dados através da lógica abdutiva. A lógica de inferência abdutiva “é um processo de idas e vindas do nível conceitual, abstrato, ao nível dos dados”; “a coleta de dados, a análise, a formulação e a validação da teoria são reciprocamente relacionadas, em um processo indutivo de interpretação e em um processo de dedução e validação das proposições” (FEITOSA; POPADIUK; DROUVOUT, 2009, p. 9).

Para Jungk (2015), no processo de semiose pelo qual todo pensamento e inferência se desenvolvem, o real ocupa o lugar do objeto dinâmico, na forma de perceptos que se impõem à cognição, o que significa que o grau de verdade de um signo está ligado à forma como ele representa aspectos de seu objeto dinâmico, ou seja, a veracidade de um signo repousa no grau de adequação do seu objeto imediato em relação a seu objeto dinâmico. Para ela, é possível dizer que a realidade, como a conhecemos, através da qual orientamos nossa conduta e atuamos no mundo, se compõe dos signos que representam aspectos do real.

O estudo da inferência lógica, segundo Pierce, resultaria na compreensão dos princípios básicos subjacentes a toda forma de síntese e crescimento, princípios esses fundamentais a toda abordagem racional de tudo aquilo que é observável. Ele tratou a dedução como raciocínio necessário, isto é, como aquele que chega à conclusão a partir de premissas cuja validade já é conhecida, afirmando que a hipótese também é um modo de inferência (JUNGK, 2015).

A importância deste estudo é reforçada pela teoria da aprendizagem inferencial sob a ótica de Peirce, em que ele demonstra que o ser humano não possui uma autoconsciência intuitiva e que todo conhecimento que temos, seja de nós mesmos ou do mundo exterior, é derivado de fatos externos, no sentido de que estes se impõem à percepção e são apreendidos pela via inferencial. Peirce constata que só é possível obter o conhecimento por meio de inferências a partir de fatos da experiência e que há uma realidade desconhecida, porém cognoscível que se manifesta e que pode ser captada, através de inferências, pela capacidade cognitiva do ser humano (JUNGK, 2015).

A inferência dos dados caracteriza-se pela transferibilidade (MORGAN, 2007), no qual os resultados encontrados poderão ser generalizados dentro de um contexto, neste caso, no campo das organizações industriais automotivas.

3.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Quivy e Van Campenhoudt (2005) destacam que a melhor forma de começar um trabalho de investigação em Ciências Sociais consiste em se esforçar por enunciar o projeto sob a forma de uma pergunta de partida, eles também argumentam que ela é o primeiro fio condutor da investigação. Para estes autores, a problemática constitui efetivamente o princípio de orientação teórica da investigação cujas linhas de força definem, dando à investigação a sua coerência e potencial de descoberta.

A construção da pergunta de partida origina-se de um problema concreto que é traduzido em forma de questões que ganham clareza e possibilidade de serem respondidas e que orientam o processo de pesquisa (GAMBOA, 2007).

A questão norteadora deste estudo, mediante o qual se pretendeu investigar qual é o papel do grau de comunalidade de partes entre produtos de arquitetura modular, na grandeza dos esforços de desenvolvimento subsequentes dos times de engenharia de NPD, dentro de plataformas de veículos, justificou a escolha da amostra, dos produtos desenvolvidos subsequentemente em uma mesma família de produtos e do método de coleta de dados, a pesquisa documental nos bancos de dados de uma montadora brasileira.

Como foi descrito e evidenciado na etapa de revisão teórica sobre o tema, verificou-se pouca produção quantitativa no contexto das organizações industriais automotivas brasileiras, o que

levou à escolha de uma pesquisa de levantamento analítica para a construção de um estudo empírico, exploratório, descritivo e correlacional (GRAY, 2012).

Gray (2012) defende que as pesquisas de levantamento analíticas tentam testar a teoria em campo, explorando a associação entre variáveis. Ademais, este tipo de pesquisa enfatiza uma abordagem dedutiva e a generabilidade de resultados. Ainda segundo este autor, os estudos de natureza correlacional têm ênfase na descoberta de relações entre variáveis, no caso deste estudo, a comunalidade de peças e o custo com engenharia de desenvolvimento de novos produtos.

Os estudos descritivos, segundo Gray (2012), buscam, entre outros objetivos, mostrar como as coisas estão relacionadas entre si, como se pretendeu aqui.

Este estudo, então, é caracterizado como exploratório, empírico e descritivo, no qual a abordagem metodológica escolhida foi o estudo de caso único (YIN, 2010), que foi fundamentado com a análise dos dados extraídos a partir de uma abordagem quantitativa (análise de documentos).

O estudo de caso único (YIN, 2010; EISENHARDT, 1989), considerando o universo de uma montadora brasileira que adota a estratégia de modularidade de projeto de produto, foi realizado tomando como base os dados de caracterização dos componentes de 3 produtos que foram desenvolvidos posteriormente ao produto inicial, todos de uma mesma família de produtos e pertencentes à mesma plataforma. O que demonstra também o caráter longitudinal da pesquisa, uma vez que, segundo Gray (2012), um estudo longitudinal investiga as mudanças e desdobramentos com o passar do tempo, observando as atitudes antes da introdução de novas práticas e, posteriormente, em vários momentos depois dela. No caso deste estudo, a unidade de análise são projetos de produtos de duas plataformas.

Para Yin (2010, p. 36) “o estudo de caso, como experimento, não representa uma ‘amostragem’ e ao realizar o estudo de caso, sua meta será expandir e generalizar teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística)”. Segundo Gray (2012), a abordagem de estudo de caso é particularmente útil quando o pesquisador estiver tentando revelar uma relação entre um fenômeno e o contexto no qual ele ocorre. Ele destaca que o método de caso tende a ter o caráter dedutivo e se beneficia com o desenvolvimento anterior de uma posição teórica para ajudar a direcionar o processo de coleta e análise de dados. Neste sentido, este estudo propôs um recorte analítico do fenômeno da modularidade de produto no contexto de uma organização industrial automotiva brasileira e, a

partir da análise dos dados do caso estudado, procurou-se confirmar as duas sub hipóteses (H1 e H2) já referidas.

3.5 DESENHO METODOLÓGICO

Nesta pesquisa, pretendeu-se através de um estudo quantitativo, exploratório, descritivo e de relação causal analisar indicadores de horas de engenharia de desenvolvimento de produto e sua correlação com a comunalidade de produtos desenvolvidos subsequentemente, através do tratamento estatístico dos indicadores definidos.

A pesquisa ocorreu em duas etapas. A primeira etapa constituiu-se pela pesquisa de levantamento de dados da empresa estudada. Na segunda etapa, foi realizada a análise dos dados coletados para verificação das hipóteses levantadas.

3.5.1 Etapa 1 – Coleta de Dados Exploratória

Antes que se possam elaborar ferramentas de pesquisa, é importante definir operacionalmente as variáveis fundamentais para que fique bem claro o que está sendo medido (GRAY, 2012). Para operacionalizar a realização desta pesquisa, o indicativo da modularidade selecionado como constructo de pesquisa foi o grau de comunalidade peças (C). O indicativo da vantagem competitiva de custo utilizado foi índice do custo de horas de engenharia (I) de NPD gastas para o desenvolvimento de cada projeto. Este índice foi definido considerando a razão entre o custo total de homens-hora de engenharia de desenvolvimento (NPD) necessário para o primeiro produto lançado (definido como HH_{P1}) e o custo total de homens-horas de engenharia de desenvolvimento (NPD) necessário o desenvolvimento dos produtos subsequentes (HH_{Px}).

Por razões de confidencialidade, os tipos de veículos, seus nomes, bem como os valores reais de custos obtidos durante a coleta de dados não serão divulgados e serão apresentados nesta dissertação apenas os índices normalizados.

Lopes, Souza e Tubino (1998) salientam que a etapa de coleta de dados é o lugar no qual acontece a construção dos dados ou do objeto empírico para a obtenção das informações

pertinentes à problemática. Segundo Gray (2012), os documentos são algumas das medidas não invasivas mais usadas e incluem uma série de documentos de organizações. Assim, neste estudo os dados foram coletados nos bancos de dados internos da organização estudada.

Nesta pesquisa, foram utilizadas amostras não aleatórias (GRAY, 2012), uma vez que devido à necessidade de analisar o fenômeno dentro de um campo específico a amostragem deve ocorrer de maneira intencional, usar “essa abordagem pode conseguir produzir uma verdadeira secção transversal da população” (GRAY, 2012, p. 126).

A amostragem também foi por conveniência (GRAY, 2012), ou seja, a amostra foi escolhida com base na disponibilidade dos dados. Neste respeito, levou-se em consideração que “A amostragem por conveniência como essa pode dar indicações úteis de tendências, mas as necessidades devem ser tratadas com extrema cautela” (GRAY, 2012, p.129).

As amostras utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa foram 4 produtos lançados entre os anos de 2014 e 2018 em uma organização industrial automotiva brasileira, aqui nomeados de P1, P2, P1.1 e P2.1, em que:

P1 = Modelo Principal (primeiro projeto da plataforma 1)

P2 = 2º Modelo Lançado (primeiro projeto da plataforma 2)

P1.1 = Revitalização do Modelo Principal (modificação parcial do design derivado da plataforma P1)

P2.1 = Revitalização do 2º Modelo (modificação parcial do design derivado da plataforma P2)

O grau de comunalidade utilizado como referência para o levantamento dos dados foi definido no item 2.1 deste estudo:

Grau de Comunalidade do Produto (C) = $100 * \frac{p_{com}}{p_{com} + p_{uniq}}$ onde

$p = \{ \text{componentes construtivos dos 4 produtos avaliados} - P1, P2, P1.1 \text{ e } P2.1 \}$

$p_{com} = \text{porção comum e } p_{uniq} = \text{porção não comum}$

Os componentes foram analisados a partir do banco de dados da empresa. Para calcular o percentual de comunalidade existente entre cada projeto comparado, foram consideradas os componentes de cada módulo que compõem a construção do veículo, conforme o padrão definido pela empresa (Quadro 7).

No Quadro 6, foram apresentadas as categorias de comunalidade de peças em projetos de produto com arquitetura modular identificados na literatura, no caso desta pesquisa, foi estudada a comunalidade por compartilhamento (sharing) em que um mesmo componente é relacionado com múltiplos produtos. A porção de componentes comuns (pcom) e de componentes não comuns (puniq) foi identificada pelo código de identificação de cada componente (*part number*), sendo que componentes comuns (pcom) possuem o mesmo código de identificação em dois produtos diferentes, e componentes não comuns (pcom) possuem códigos de identificação (*part numbers*) únicos. Foi construída uma planilha para realizar a análise comparativa dos componentes identificando cada componente comum e não comum de cada módulo (1,2,3,4,ou 5) pertencente a cada um dos produtos (P1, P2, P1.1 e P2.1), a partir da qual foram determinados os dados de comunalidade apresentados na seção 4.2.

Quadro 7: Distribuição dos Módulos do veículo

Nr. do Módulo	Título	Descrição
1	Carroceria	Componentes que pertencem ao corpo construtivo do veículo, incluindo os estruturais - assoalho, portas, teto, laterais e reforços, e aqueles relacionados com a aparência - para-choques, maçanetas, retrovisores etc.
2	Interior	Componentes que proporcionam conforto, utilidade e acabamento interno, tais como bancos, volantes, tapeçaria etc.
3	Chassis	Componentes do sistema de suspensão e frenagem do carro, como amortecedores, molas de suspensão, disco de freio etc.
4	Mecânica	Componentes que favorecem o funcionamento mecânico do veículo, como o motor, escapamento, sistemas de abastecimento de combustível etc.
5	Elétrica	Todos componentes elétricos e fiação que propiciam o funcionamento do veículo, bem como os seus recursos eletrônicos.

Fonte: Elaborado pela autora

Para o cálculo do índice do custo de horas de engenharia (I) foram coletados dados de custo de homens-hora ano a ano em todas as fases do projeto, e também os valores totais empregados em cada projeto.

3.5.2 Etapa 2 – Análise dos Dados Exploratória/Descritiva

A fim de comparar os graus de comunalidade de pares de veículos de uma mesma plataforma com o indicador de horas de projeto necessárias para desenvolver cada par de novos produtos, os dados coletados na etapa 2 foram analisados e serão apresentados no Capítulo 4 deste documento.

Gray (2012) destaca que as pesquisas de levantamento analíticas tentam testar uma teoria em campo, com o propósito principal de testar associações entre variáveis, as quais podem ser dependentes e independentes. Para Gray, a pesquisa científica visa identificar as razões da ocorrência das condições ou eventos, denominando-se estas causas de variáveis independentes, e os efeitos resultantes, de variáveis dependentes. Ainda segundo Gray (2012), as variáveis independentes são as causas das mudanças nas variáveis dependentes que serão avaliadas na pesquisa. Neste estudo definiu-se que:

Grau de comunalidade de produto (C) = variável independente (X)

Índice de custo de homens-horas de Engenharia (I) = variável dependente (Y)

A pesquisa de levantamento foi construída de forma que os níveis de correlação (intensidade das relações) entre o grau de comunalidade e o índice de horas de engenharia de desenvolvimento de produto pudessem ser calculados e analisados.

Esta etapa da pesquisa procurou “apresentar uma análise descritiva dos dados para todas as variáveis independentes e dependentes do estudo” (CRESWELL, 2010, p. 185), além de contribuir para confirmação, ou não, da hipótese levantada no início da pesquisa.

Foi realizada uma análise de dados Temática e Numérica (GRAY, 2012), em que se realizaram comparações entre os dados dos produtos amostrados, analisaram-se as variáveis dependentes e independentes e realizaram-se análises inferenciais para avaliar a hipótese da pesquisa – aceitá-la ou rejeitá-la (HOFFMAN, 2009).

Neste capítulo, tratou-se da metodologia empregada para a construção do estudo de caso único. No capítulo 4 – Resultados e Discussão –, apresentam-se os resultados da pesquisa de campo, respondendo à questão de pesquisa apresentada, aceitando ou rejeitando as hipóteses formuladas.

4 ANÁLISE E RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 CENÁRIOS INVESTIGADOS

Foram realizadas comparações entre o percentual de comunalidade de todos os produtos desenvolvidos pela engenharia nacional na empresa investigada, em que o produto principal (P1) foi o primeiro modelo a ser projetado e produzido no Brasil.

P1 = Modelo Principal (primeiro projeto da plataforma 1) – este modelo foi desenvolvido, inicialmente, para ser produzido na empresa estudada, ser vendido no mercado sulamericano e em outro continente, tendo sua estrutura superior, incluindo itens de aparência totalmente novos, bem como os demais módulos. A base estrutural – composta principalmente de assoalho e reforços – também foi desenvolvida pela primeira vez com o objetivo de ser utilizada como base para o desenvolvimento de projetos futuros (a decisão de possibilitar comunicações futuras foi tomada na fase inicial do projeto).

É importante destacar que o produto inicial caracterizou-se por um nível de originalidade maior, considerando que este foi o primeiro produto da plataforma desenvolvido na fábrica pela engenharia brasileira. Portanto, não se esperava comunalidade deste produto com produtos anteriores da Cia.

P2 = 2º Modelo Lançado (primeiro projeto da plataforma 2) – este modelo também foi desenvolvido, inicialmente, para ser produzido na empresa estudada e ser vendido no mercado sulamericano e em outro continente, com um escopo semelhante ao da plataforma P1. Porém, neste caso, principalmente em relação à base estrutural, o produto já nasceu com a premissa de possuir os mesmos componentes – seria um projeto de plataforma semelhante, possibilitando o máximo de comunalidade possível entre os componentes inferiores do módulo de estrutura de carroceria (Módulo 1, segundo a categorização da empresa estudada). A principal diferença entre o primeiro e o segundo produto é que o primeiro constituiu-se

apenas de 1 modelo hatch, e o segundo produto constituiu-se de duas variações: 1 hatch e 1 sedã.

P1.1 = Revitalização do Modelo Principal (modificação parcial do design derivado da plataforma P1) – o produto P1.1 foi desenvolvido em um projeto derivado, de reformulação do veículo P1 com plataforma global, desenvolvido pela engenharia no Brasil, trazendo modificações no produto corrente com o objetivo de mantê-lo competitivo, atraente ao público alvo e fortalecer a linha de produtos da empresa estudada. Este projeto de renovação de P1 envolveu um maior número de mercados, uma vez que o design do produto original agradou aos consumidores de vários continentes, levando à expansão de continentes afetados, tendo sido desenvolvido para atender ao continente Americano (incluindo a América do Sul), ao Asiático e ao Europeu. Esta mudança afeta principalmente o conceito dos componentes estruturais (pertencentes ao módulo 1), uma vez que os critérios de aceitação e de legislação locais podem ter variações entre os mercados. As principais modificações realizadas neste projeto foram: envolvendo o módulo 1, na parte dianteira do carro, foram desenvolvidos novos para-choques, faróis, grade do radiador e capô, e na parte traseira, foram criados novos para-choques e lanternas mais modernas; envolvendo os módulos 3 e 5, foram renovados, na parte interna, os principais itens de acabamento e realizada a adequação às novas tecnologias de interface entre o consumidor e o veículo.

P2.1 = Revitalização do 2º Modelo (modificação parcial do design derivado da plataforma P2) – o produto P2.1 foi desenvolvido em um projeto derivado, de reformulação do veículo da plataforma P2, com plataforma global compartilhada entre os continentes Americano, Asiático e Africano, tendo que atender aos requisitos de cada um dos mercados onde seria comercializado. A proposta da empresa foi realizar melhorias perceptíveis aos clientes, para manter a atratividade e fortalecer a linha de produtos deste segmento para a Cia. Neste projeto, foram modificadas: no módulo 1, alguns componentes estruturais da coluna “B”, para-choques dianteiro e traseiro, faróis e grade dianteira; no módulo 2, alguns itens de acabamento na parte interna, incluindo novos tecidos para os bancos e melhoria dos pacotes de acessórios; e, no módulo 5, foram desenvolvidos componentes relacionados às novas tecnologias. Este projeto também envolveu modificações no escopo de motorização dos dois modelos e no conteúdo de segurança em alguns componentes de chassis.

4.2 SOBRE A COMUNALIDADE

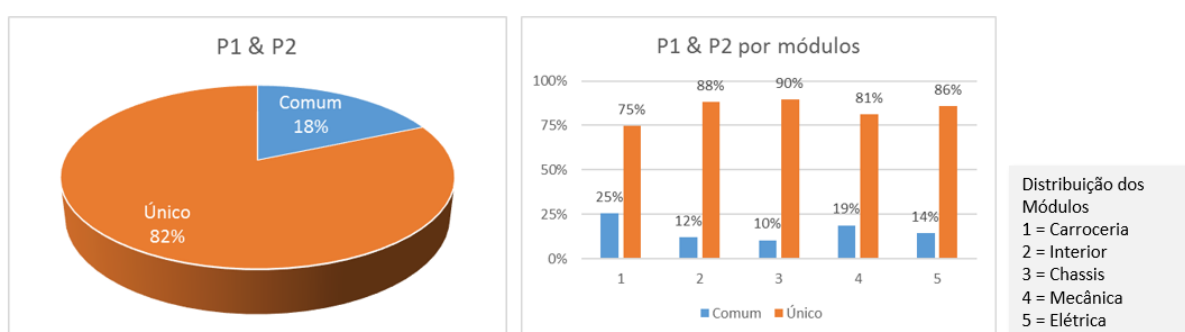
Hodges (2004) esclarece que a comunalidade pode referir-se a componentes e sistemas estruturais e não estruturais, de fato observamos que a comunalidade entre componentes das plataformas dos automóveis, por causa do custo, geralmente inclui elementos da parte estrutural inferior e dos motores. Ainda segundo este autor, a decisão de comunização de partes é um espaço complexo de análise de decisão que ocorre a partir da combinação das escolhas sobre os sistemas integrais e sobre os milhares de outros componentes e sistemas em um automóvel.

Em um total de 16.419 componentes de 3 modelos de uma mesma planta (P1/P1.1 e as variações de P2/P2.1), o nível de comunalidade atual ao final de todos os projetos é de 29%, o equivalente a 4.761 componentes comuns aos 3 modelos sendo que, deste total, 51% (2.428 componentes) pertencem ao módulo de carroceria, que envolve estrutura e itens de aparência (Módulo 1).

Comparando o desenvolvimento de novos produtos a partir de uma plataforma, observou-se que:

Da plataforma base (**P1**) para o desenvolvimento de uma nova plataforma (**P2**), o percentual de comunalidade total foi de **18%**, em que a maior parte das componentes (25%) pertence ao módulo de carroceria (Módulo 1) e 56% dos componentes comuns deste módulo referem-se à parte inferior do veículo, que é constituída por componentes estruturais como o assoalho, longarinas e reforços, confirmando que a premissa do projeto de manter componentes comuns na plataforma 2 foi atendida (Figura 9).

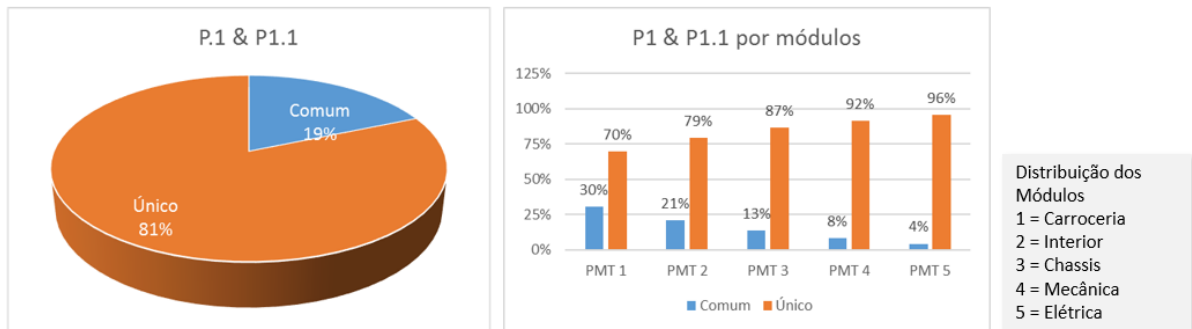
Figura 9: Comunalidade entre Produtos (Plataforma x Plataforma)



Fonte: Elaborado pela autora

Considerando os novos componentes desenvolvidos para uma versão atualizada (**P1.1**) da plataforma base (**P1**), foi verificado **19%** de comunalidade, sendo que 30% dos componentes comuns são parte do módulo de carroceria. Neste caso, a maioria de componentes comuns foi na parte superior (29%). Ao analisar o escopo deste projeto, de fato, verificou-se que as principais mudanças de design deste modelo estavam relacionadas com itens de aparência e equipamentos de entretenimento e novas tecnologias, o que justifica a grande quantidade de componentes únicos para estes modelos no módulo 1 (Figura 10).

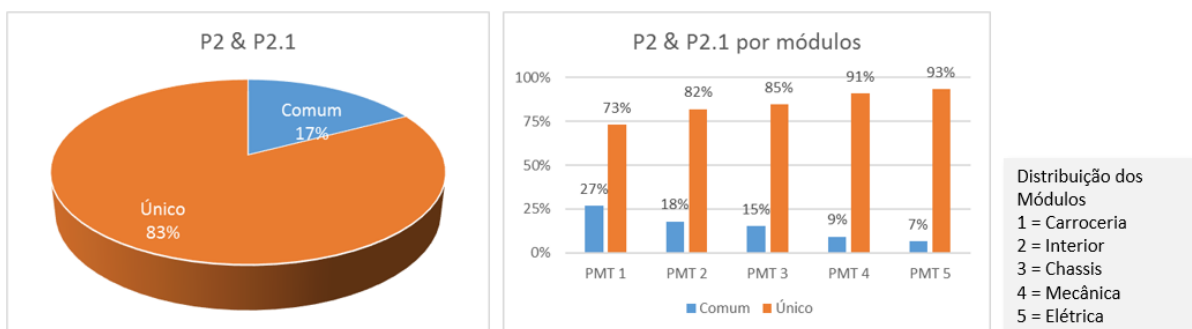
Figura 10: Comunalidade entre Produtos (Derivativo 1 x Plataforma 1)



Fonte: Elaborado pela autora

Na comparação entre a segunda plataforma (**P2**) e o seu produto derivado (**P2.1**), **17%** de comunalidade foi verificado. Neste caso, o módulo de carroceria (Módulo 1) apresentou o maior % de comunalidade (27%) em relação aos outros módulos (Figura 11).

Figura 11: Comunalidade entre Produtos (Derivativo 2 x Plataforma 2)



Fonte: Elaborado pela autora

Considerando apenas o módulo de carroceria (Módulo 1), um fato relevante observado é que os maiores % de comunalidade são entre os projetos de produtos iniciais e suas versões atualizadas (P1.1 x P1= 30% e P2.1 x P2=27%).

Um resumo das comparações encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8: Graus de Comunalidade entre os produtos

Comparativo por tipo de projetos	Plataforma x Plataforma	Derivativo x Plataforma	
	P2 e P1	P1.1 e P1	P2.1 e P2
Grau de Comunalidade entre Produtos (C) - %	18	19	17

Fonte: Elaborado pela autora

4.3 SOBRE OS CUSTOS DE ENGENHARIA DE DESENVOLVIMENTO

Segundo Clark et al. (1987), um projeto pode ser considerado uma rede de engenharia inter-relacionada com atividades de coordenação de duração incerta. Isto porque, segundo estes autores, o tempo de duração de cada atividade dependerá de dois fatores principais: a estratégia do projeto, que envolve a complexidade e o seu escopo; e a estrutura organizacional envolvida na execução das atividades (equipe de projetos). Para eles, os tempos necessários para concluir uma tarefa de engenharia ou para coordenar o projeto dependerão das capacidades dos engenheiros e da capacidade de comunicação da organização.

A estrutura organizacional e o desempenho da equipe do projeto, um dos fatores identificados por Clark et al. (1987), não foram considerados aqui porque o time que trabalhou nos projetos investigados foi o mesmo.

Clark et al. (1987) também definiram quatro atividades principais no desenvolvimento de produtos: geração de conceito, planejamento de produto, engenharia de produto e engenharia

de produção, em que o número e a duração das atividades determinarão o número total de horas de engenharia que o projeto consumirá.

Tyagi et al. (2015) argumentam que o processo de desenvolvimento de produto dura normalmente de 3 a 5 anos, dividindo-se em quatro fases principais de desenvolvimento: geração de conceito, planejamento de produto, engenharia de produto e processo e, por fim produção piloto / ramp-up. Estes autores argumentam que a aplicação de um método baseado no Mapeamento do Fluxo de Valor (Value Stream Mapping - VSM) para diminuir perdas nestas fases pode tornar estes processos mais enxutos e reduzir este tempo.

O tempo médio total de duração de cada um dos projetos foi de 5 anos, sendo que os projetos de P1 e P2 duraram exatamente 5 anos, o projeto de P1.1 levou 6 anos, desde o início do desenvolvimento do design até o início da produção em linha, e o projeto P2.1, levou 4 anos para ser concluído.

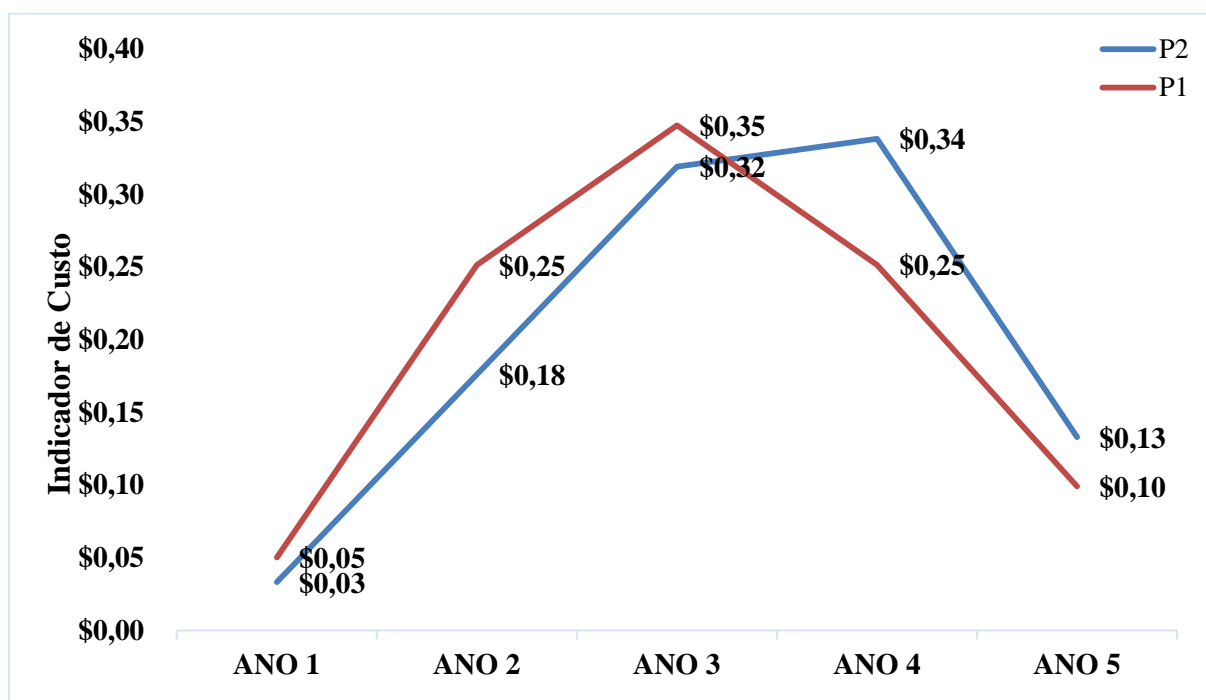
Independentemente de qual estratégia específica é empregada, a otimização do design da família de produtos envolve: (a) a exploração do design da família de produtos e (b) a decisão quanto ao nível apropriado de comunalidade na família, ao que nos referimos como seleção de comunalidade. Com respeito ao envolvimento de múltiplos produtos, significativamente aumenta a dimensionalidade e a sua complexidade em relação ao design. Existe uma dificuldade de visualizar as compensações que ocorrem dentro do contexto de design de uma família de produtos, especialmente em relação ao fato de que qualquer comunalização pode afetar adversamente o desempenho do desenvolvimento do produto, mas os designers devem ser capazes de visualizar que compensações ocorrem (Khire et al. 2008).

Para um projeto de plataforma original como P1 e P2 esperava-se um *lead time* maior do que para os projetos dos seus derivativos P1.1 e P2.1 (que trazem um grande percentual de peças não originais, isto é, copiadas da plataforma inicial), porém isto não foi verificado. Este fato pode ser explicado possivelmente pela mudança que houve no escopo onde os produtos originais destinaram-se a menos mercados que os seus respectivos produtos derivativos, o que inclui a necessidade de testes de validação adicionais aumentando o tempo total de NPD.

Na empresa investigada, a distribuição das atividades de desenvolvimento de produto ao longo de cada projeto dos produtos analisados foi semelhante, uma vez que no período e nos projetos analisados não houve modificação nos processos e procedimentos de NPD, já padronizados. Os anos iniciais equivalem às etapas de geração de conceito e planejamento de

produto, estas etapas exigem um menor esforço de homens-hora de engenharia de modo que se espera que os custos de NPD sejam menores. Os anos finais correspondem às etapas engenharia de produto e engenharia de produção, etapas em que são testados os protótipos, realizadas as validações de produto e também a preparação e validação das linhas de fabricação para produção. Estas etapas exigem um maior esforço de engenharia de NPD, logo, os custos equivalentes destas etapas são maiores. As figuras 12, 13 (a) e 13 (b) demonstram os custos dos projetos nos quais é possível ver a evolução ao longo dos anos de desenvolvimento. Os anos 1 e 2 equivalem às etapas iniciais e os anos 3 e 4 às etapas finais. O ano 5 corresponde à fase de finalização do projeto em que os produtos já se encontram nas etapas de validação e início da produção.

Figura 12: Indicadores de Custos dos Projetos (Plataforma x Plataforma)



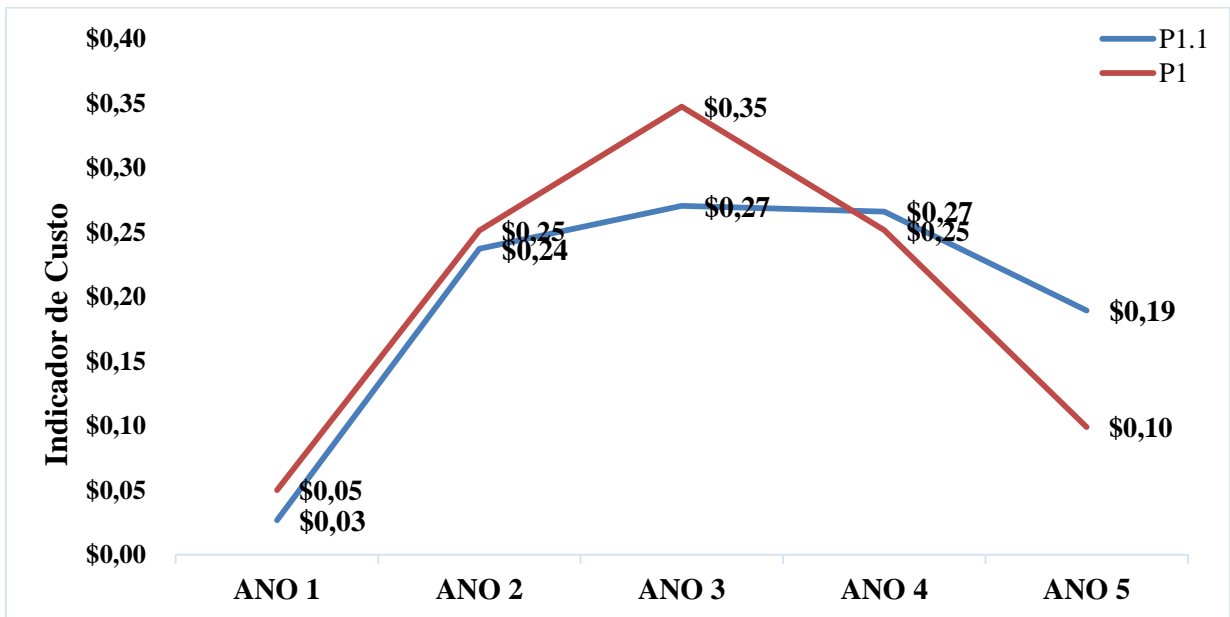
Fonte: Elaborado pela autora

Clark et al. (1987) argumentam que o impacto nas horas de engenharia depende do projeto do veículo de base, mas uma regra comum na indústria é que cada tipo de carroceria adicional acrescenta de 10 a 20% às horas necessárias para projetar o veículo de base.

No caso da empresa estudada, verificou-se uma diferença média aproximada de 30% nos custos quando são comparados os projetos de plataformas (P2 x P1). Outro fato importante a ser destacado é que nesta situação, **os custos do segundo produto de plataforma (P2) nos anos iniciais, que correspondem às etapas de criação e design do produto (geração de**

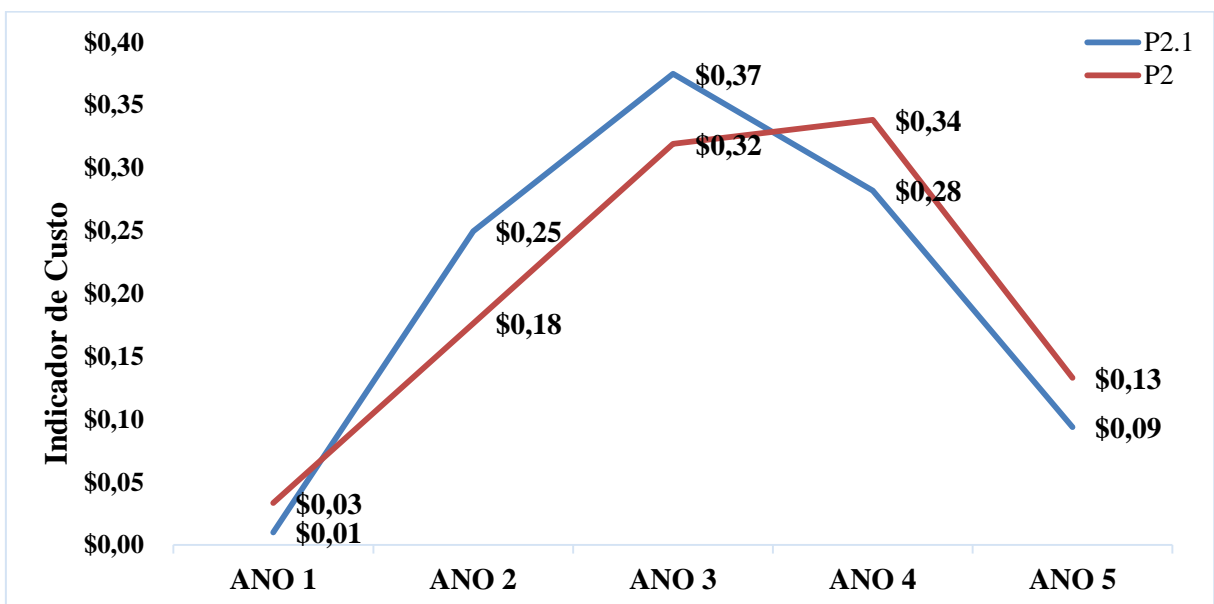
conceito e planejamento de produto), foram menores que os do modelo inicial da plataforma 1 (P1), indicando a comunalidade de peças como um fator de redução nos esforços de engenharia, já que menos peças tiveram que ser desenvolvidas no projeto do segundo modelo. Nesta situação, a redução de custos média encontrada, considerando apenas os anos 1 e 2, foi de 32%.

Figura 13: Indicadores de Custos dos Projetos (Derivativos x Plataformas) (a)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13: Indicadores de Custos dos Projetos (Derivativos x Plataformas) (b)



Fonte: Elaborado pela autora

Um dos elementos da estratégia do projeto que pode afetar os seus custos, conforme destacado por Clark et al. (1987), é o escopo do projeto. A complexidade é um fator importante de modo que se espera que projetos mais complexos exijam mais horas de engenharia.

A análise dos custos dos projetos derivativos e seus respectivos projetos de plataforma (P1.1 x P1 e P2.1 x P2), de fato, evidencia a complexidade do escopo como um fator que influenciou os custos dos esforços de homens-hora de engenharia de NPD, uma vez que o projeto de P2.1. teve seu escopo aumentado em relação a P2, considerando os mercados que o produto P2.1. deverá atender (3 continentes para P2.1 x 2 continentes para P2).

Como citado anteriormente, a partir do 3º ano, o projetos entram em suas etapas finais do NPD (engenharia de produto e engenharia de produção) onde se realizam os testes com protótipos e as validações de produto em produção. No comparativo entre P1 e P2 (figura 12) observamos que o custo de P2 aumenta em relação a P1 a partir do 3º ano, isto devido à diferença entre o escopo dos projetos (P1 equivale a 1 produto hatch, ao passo que P2 equivale a 1 produto hatch e 1 produto sedã). O mesmo comportamento é observado no comparativo P1x P1.1, neste caso a diferença de escopo está nos mercados, onde, no desenvolvimento do produto derivativo, testes adicionais foram requeridos devido às diferenças de características dos mercados adicionais.

A comparação entre os custos ao longo dos anos evidencia impacto da comunalidade nos custos de engenharia essencialmente nas etapas iniciais do projeto, onde os esforços de engenharia estão direcionados para o desenvolvimento do design dos componentes, conforme esperado, uma vez que são as etapas de geração de conceito, planejamento de produto definidas por Clark et al. (1987).

4.4 COMUNALIDADE X CUSTOS

Como foi exposto no subcapítulo 4.3, existem vários fatores que influenciam os custos de um projeto. Alguns destes fatores são de ordem organizacional, tais como o perfil do time do projeto, a estrutura da equipe de projeto, as formas de comunicação da organização. Outros

fatores dependem exclusivamente das características do projeto, como o escopo e o tempo programado para o seu desenvolvimento.

Khire et al. (2008) destacam que um sistema de engenharia normalmente consiste em um número de possíveis escolhas de comunalidade (componentes e módulos), em que o design abrangente da família de produtos envolve a exploração de opções de potencialidade em comum para todos esses componentes e módulos.

A comunalidade apresenta-se como um fator de redução de custos do projeto, uma vez que reduz a variabilidade do design, mas, considerando um projeto de veículo de arquitetura modular, existem outros fatores, principalmente relacionados ao escopo do projeto, que podem impactar os custos de homens-hora de engenharia.

O nível das modificações previstas entre um projeto e outro é um deles. Caso a proposta seja realizar uma modificação grande no design do produto, é esperado que o número de horas de desenvolvimento, e conseqüentemente os custos, seja maior. Cada organização industrial automotiva deverá definir o nível de mudanças a serem realizadas entre os projetos de seus produtos, conforme as suas estratégias comerciais.

Os mercados nos quais os produtos deverão ser comercializados, como foi visto no item 4.3, também podem influenciar, uma vez que os componentes deverão ser desenvolvidos para atender a características específicas destes mercados, de modo que a estratégia de comunalidade, neste caso, é descartada.

Os tipos de plataformas de produto também podem influenciar; é evidente que o desenvolvimento de uma pick up, ou um caminhão, por exemplo, envolverá interfaces de componentes de maneira diferenciada de uma plataforma de um veículo de passeio. Mas não necessariamente os custos de desenvolvimento de um produto, ou de outro serão maiores ou menores.

Ainda existem as especificidades dentro de cada módulo que podem gerar custos de desenvolvimento diversos. No módulo de elétrica, por exemplo, a incorporação de novas tecnologias pode trazer algum impacto financeiro relevante, por envolver o desenvolvimento de softwares, o entendimento de novas interfaces lógicas, bem como o aprendizado do time envolvido no desenvolvimento.

O principal fator de ruído verificado no desenvolvimento da pesquisa, que potencialmente

poderia gerar outras explicações para possíveis reduções em custo que não a modularidade (medida pela *proxy* comunalidade de partes), foi a mudança nos mercados que os produtos investigados seriam comercializados, entretanto este fator foi eliminado no andamento da análise, uma vez que os comparativos foram realizados entre produtos com escopo semelhante em que ambos veículos foram desenvolvidos para atender a América do Sul e outro Continente (P1x P2), especialmente no caso da verificação se a sub hipótese 2 (H2) seria confirmada ou refutada. Curiosamente, no caso dos projetos dos derivativos, embora o segundo produto (P2.1) tenha sido projetado para atender mais mercados (3 continentes) do que o produto inicial P2 (2 continentes), o custo de homens-hora de engenharia do derivativo foi menor. Nesta situação, também foi observado um menor grau de comunalidade, informações que foram utilizadas para verificar a confirmação da sub hipótese 1 (H1).

Para este estudo, a comunalidade de componentes foi o fator investigado como estratégia de design para redução nos custos de engenharia de desenvolvimento de novos componentes em uma mesma família de produtos. Os níveis das modificações previstas nos projetos de produtos de plataforma e nos projetos de derivativos foram semelhantes e os tipos de produtos comparados foram os mesmos, logo, a influência destes fatores na realização da pesquisa foi pouco significativa de modo que a comunalidade pôde ser considerada principal constructo para a análise comparativa dos custos.

Em relação à sub hipótese 1 (H1) desta pesquisa, no caso da empresa estudada, buscou-se confirmar que o índice de custo de projeto derivado dividido pelo custo do projeto de plataforma que o originou é menor no caso dos projetos relacionados em que o grau de comunalidade é maior.

Considerando que:

Grau de comunalidade de produto (C) = variável independente (X)

Índice de custo de homens-horas de Engenharia (I) = variável dependente (Y)

Esperou-se verificar nos dados analisados a sub hipótese 1 de modo que:

H1: (I) = a (C) + b

Para verificar a confirmação da hipótese 1, foram considerados os valores apenas do comparativo entre os dados do segundo derivativo contra sua plataforma (P1.1 x P1 / P2.1 x

P2). Em relação ao derivativo, apenas o custo do segundo produto foi menor mesmo tendo mercados diferentes como parte do escopo (maior complexidade de projeto).

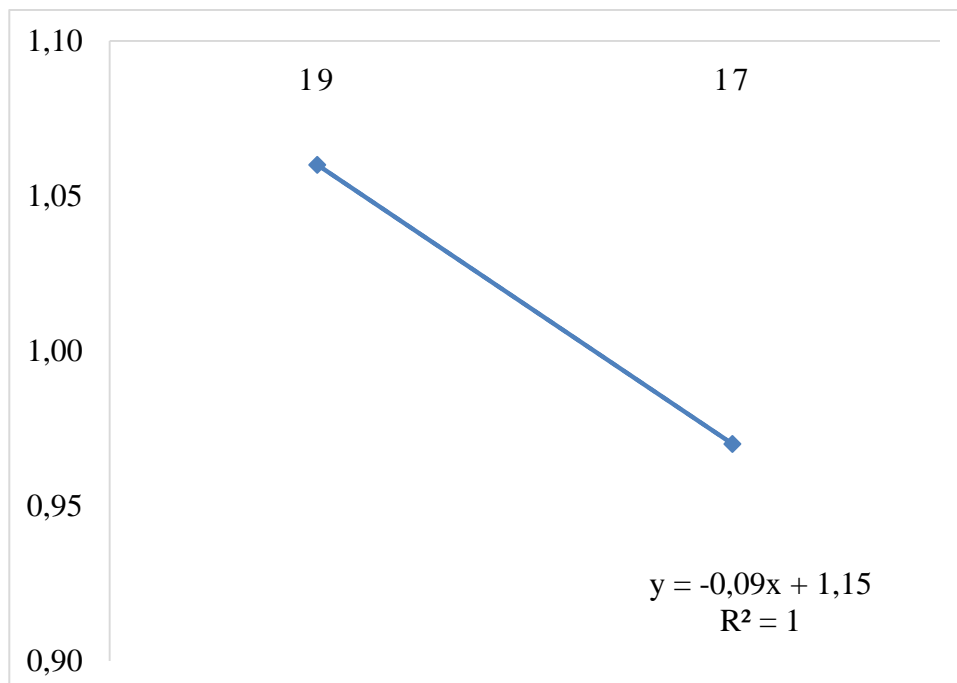
Os dados do Quadro 9 serviram como referência para construção do gráfico (Figura 14), utilizado como base para verificar se a sub hipótese 1 seria confirmada ou não.

Quadro 9: Graus de Comunalidade x Custos

Comparativo	Y	X
P1.1/P1	1.06	19
P2.1/P2	0.97	17

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14: Graus de Comunalidade x Custos



Fonte: Elaborado pela autora

O gráfico resultante apresentou o comportamento esperado conforme a sub hipótese 1, porém observamos que os valores de comunalidade são muito parecidos de modo que esta hipótese

não pôde ser testada adequadamente. Além disto, os custos do projeto derivado no caso do comparativo P1 x P1.1 foram maiores, de modo que o índice de custo derivado foi maior que 1 (1.06), e não menores como seria esperado. Portanto, a sub hipótese 1 (H1) não foi confirmada.

Em relação à sub hipótese 2, considerando o constructo comunalidade, como variável independente e o constructo índice de custo de homens-hora de engenharia como variável dependente, esta pesquisa buscou investigar a situação em que uma plataforma subsequente tem menor custo devido à comunalidade de peças entre elas. Propôs-se como sub hipótese 2 (H2) que o custo de uma plataforma subsequente, em que há comunalidade de partes com uma plataforma anterior, é menor:

Índice de custo de homens-horas de Engenharia (I) = custo total do projeto de plataforma subsequente / custo total do projeto de plataforma anterior

H2: $I < 1$

O Quadro 10 mostra os resultados encontrados para esta análise.

Quadro 10: Comparativo de Indicadores de Custo

Hipótese	Indicador de Custo (I)	Resultado
Custo P2 < Custo P1	0,593	Confirmada

Fonte: Elaborado pela autora

O escopo do projeto, um dos fatores que impacta grandemente os custos de homens-hora de engenharia, foi semelhante nos dois projetos de plataformas (P2xP1) de modo que, nesta situação, a sub hipótese 2 foi confirmada.

Apesar das limitações apresentadas na realização desta pesquisa devido à quantidade de dados disponíveis, foi possível **verificar parcialmente a confirmação da hipótese geral: HG: “Um maior grau de comunalidade de peças (ou componentes) leva a menores esforços de engenharia de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD)”**.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de um estudo quantitativo, exploratório, descritivo e de relação causal, foram analisados indicadores de homens-horas de engenharia de desenvolvimento de produto (NPD) de uma empresa automotiva brasileira e sua correlação com a comunalidade de componentes entre produtos desenvolvidos subsequentemente.

A modularidade de design é uma estratégia adotada pela empresa estudada em que os componentes do veículo são divididos em cinco módulos. A comunalidade por compartilhamento de componentes semelhantes entre produtos é uma das características destes módulos e foi objeto de interesse neste estudo. Para verificação das hipóteses da pesquisa, foram considerados os índices de comunalidade total dos veículos, embora na coleta e análise dos dados tenha sido possível identificar os graus de comunalidade individuais de cada módulo.

A comparação em projetos de diferentes veículos permitiu visualizar o grau de comunalidade existente entre os diferentes produtos desenvolvidos pelo time de engenharia de NPD, considerando os dados dos produtos de uma mesma plataforma e seus derivativos. Os dados da empresa mostraram que os índices de custo relativo dos projetos derivados são bem parecidos, do mesmo jeito que os índices de comunalidade dos produtos derivados investigados, fato este que dificultou o teste de uma das hipóteses.

Outro aspecto importante identificado na pesquisa é que o escopo é um fator importante no custo de projetos de modo que, em algumas situações, devido ao escopo do projeto envolver um maior esforço de engenharia, observou-se um maior custo de homens-hora.

Uma das contribuições teóricas da pesquisa foi a categorização dos tipos de modularidade, incluindo a identificação e a descrição das características da Modularidade de Design (MID), bem como definição das categorias de comunalidade, uma vez que, na literatura, estes conceitos encontram-se fragmentados.

A definição de parâmetros de comparação entre o Grau de comunalidade (C) e os Indicadores de Custo de homens-hora de engenharia (I) é a principal contribuição prática desta pesquisa, uma vez que o modelo de comparação proposto neste estudo pode ser replicado e utilizado em pesquisa futuras. Além disto, os dados utilizados nesta pesquisa foram analisados considerando o contexto da indústria automotiva brasileira, uma lacuna evidenciada na revisão de literatura onde verificou-se a ausência de estudos de natureza quantitativa acerca do tema modularidade (tendo como constructo a comunalidade) no Brasil.

Por meio desta pesquisa de levantamento analítica, as hipóteses levantadas foram testadas pela associação entre as variáveis comunalidade (C) e os indicadores de custo de homens-hora de engenharia (I). Neste sentido, o presente estudo propôs um recorte analítico do fenômeno da modularidade de produto no contexto de uma organização industrial automotiva brasileira e, a partir da análise dos dados do caso estudado, procurou-se confirmar a hipótese de que o índice de custo de projeto derivado dividido pelo custo do projeto de plataforma que o originou é menor no caso dos projetos relacionados em que o grau de comunalidade é maior, e também a hipótese de que o custo de uma plataforma subsequente, em que há comunalidade de partes com uma plataforma anterior, é menor.

Pelo método hipotético-dedutivo, através de um trabalho lógico, análise de conceitos e indicadores, a questão norteadora deste estudo foi respondida pela confirmação da hipótese 2, em que um dos resultados encontrados foi que a comunalidade de partes entre produtos de arquitetura modular tem impacto negativo na grandeza dos esforços de desenvolvimento subsequentes dos times de engenharia de NPD, dentro de plataformas de veículos. Logo, os resultados fornecem indícios preliminares de que o grau de comunalidade pode ter um efeito negativo sobre o custo de homens-hora de engenharia de desenvolvimento de produtos. Isso se confirmou no caso de dois projetos de plataforma subsequentes.

Verificou-se que, pela análise quantitativa dos dados, apenas a segunda hipótese foi confirmada de maneira objetiva por falta de dados e por ter dois valores de comunalidade muito parecidos. A hipótese 1 não pôde ser confirmada de forma contundente devido à quantidade de dados disponíveis (o número de projetos desenvolvidos na fábrica) e devido às diferenças entre os escopos dos projetos de plataforma e dos projetos dos seus derivativos. Um estudo que se baseasse em uma amostra maior de unidades de uma mesma montadora, ou de várias montadoras, seria, portanto, propício para trazer validade externa aos resultados aqui colhidos e testar adequadamente a hipótese 1, em especial.

O presente trabalho de dissertação cumpriu seus objetivos, uma vez que os graus de comunalidade do primeiro produto gerado em cada uma de duas plataformas foram comparados com os indicadores de horas-homem de engenharia de projeto necessários para desenvolver cada um dos dois produtos comparados. Além disto, os índices de custo medidos em homens-hora de engenharia de projetos derivados também foram comparados em relação ao custo do seu projeto de plataforma.

Considerando o tema modularidade sugere-se a realização de outros estudos, como por exemplo, o impacto desta estratégia no segmento automotivo considerando o carro como um serviço de mobilidade urbana e não mais como um bem. Neste caso, espera-se uma diminuição na individualização (customização de massa) já que o carro não será mais um bem individual e passa a ser visto como um serviço compartilhado. Neste contexto, a modularidade e a comunalidade de componentes continuariam a representar vantagens competitivas na estratégia de redução de custos?

Considerando a Modularidade em Meio ambiente (MIE) apresentada por Piran et al (2016b), outro possível estudo futuro poderia ser desenvolvido considerando este tema e o constructo comunalidade, no contexto de eco-design, onde poderia ser avaliado o impacto destas estratégias no meio ambiente, em relação à reutilização de componentes e reaproveitamento de módulos. A reutilização de componentes, seu grau de reciclagem e a possibilidade de logística reversa do produto podem ser facilitadas pela adoção destas estratégias (modularidade/comunalidade)? A modularidade em meio ambiente (MIE) pode ser afetada ou pode afetar a modularidade de produção (MIP) e ou de design (MID)? São algumas questões de pesquisa possíveis.

As conclusões aqui apresentadas são reflexões do cenário estudado, em um estudo exploratório, e não permitem uma generalização devido à pequena quantidade de dados utilizados para análise. A inferência dos dados precisaria, então, ser testada através de pesquisas futuras, já que os resultados encontrados não poderão ser generalizados, mesmo dentro do contexto das organizações industriais automotivas. Nesta situação, sugere-se a ampliação dos comparativos, utilizando dados de outras empresas, considerando projetos de plataforma e seus derivativos, com escopos semelhantes aos investigados neste estudo.

Os resultados indicaram que a modularidade do produto influencia as capacidades de desenvolvimento das organizações industriais automotivas e que a comunalidade de partes,

uma das propriedades dos componentes de produtos modulares, é um fator de competitividade para estas organizações já que pode impactar nos seus custos de engenharia de NPD.

À guisa de conclusão, vale lembrar que, para que a comunalidade aconteça, é necessário que a empresa decida pela estratégia de modularidade de produto e que ocorra a padronização e a intercambiabilidade de componentes, como foi o caso da empresa estudada.

REFERÊNCIAS

- AAKER D. A. **Administração estratégica de mercado**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- ALIZON, F.; SHOOTER, S. B.; SIMPSON, T. W. Assessing and improving commonality and diversity within a product family. **Research in Engineering Design**, v. 20, n. 4, p. 241, 2009.
- ASAN, U.; POLAT, S.; SERDAR, S. An integrated method for designing modular products: IMS. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 15, n. 1; p. 29-49, 2004.
- BALDWIN, Carliss Young; CLARK, Kim B. **Design rules: The power of modularity**. Cambridge : MIT Press, 2000.
- BERNARDES, H.; KARLA, B.; COSTA, K. Modularização: simplificando a gestão e maximizando os resultados. **Espacios**, v. 34, n. 2, p. 2-16, 2013.
- CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C.; SALERNO, M. S. Aplicação da modularidade na indústria automobilística: Análise a partir de um levantamento tipo. **Survey Produção**, v. 23, n. 2, p. 329-344, abr./jun. 2013.
- CHANLAT, J. **Ciências Sociais e Management: reconciliando o econômico e o social**. Tradução Ofélia de Lanna Sette Tôres. São Paulo: Atlas, 1999.
- CLARK, K. B. et al. Product development in the world auto industry. **Brookings Papers on economic activity**, v. 1987, n. 3, p. 729-781, 1987.
- CORRÊA, H. L. The VW Resende (Brazil) plant modular consortium SCM model after 5 years of operation. In: PROCEEDINGS OF THE TWELFTH ANNUAL CONFERENCE OF THE PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT SOCIETY, march 30-April 2, Orlando, 2001. **Anais...**, Orlando: POMS, 2001. p. 1-9.
- CRESWELL, J. W. P. **Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto** 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DANESE, P.; FILIPPINI, R. Modularity and the impact on new product development time performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 30, n. 11, p. 1191-1209, 2010.
- DANESE, P.; ROMANO, P. Improving inter-functional coordination to face high product variety and frequent modifications. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 9, p. 863-885, 2004.

DI SERIO, L. C. et al. O consórcio modular: caso Volkswagen Resende. In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 25, Salvador, 2002. **Anais...**, Salvador: EnANPAD. p. 1-6. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad2002-cab-1699.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**; v.14, n. 4 Oct., 1989.

FEITOSA, I. L.; POPADIUK, S.; DROUVOUT, H. Estruturação de Pesquisas Acadêmicas: a perspectiva multi-paradigmática. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 33, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANPAD, 2009.

FIRMO, A. C. C. **Gerenciamento da Cadeia de suprimentos no setor automobilístico**: um estudo de caso no consórcio modular. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2005.

FISHER, M. ; RAMDAS, K. ; ULRICH, K. Component sharing in the management of product variety: a study of automotive braking systems. **Management Science**, v. 45, n. 3, p. 297-315, 1999.

FREDRIKSSON, P. Operations and logistics issues in modular assembly processes: cases from the automotive sector. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 2, p. 168-186, 2006.

GAMBOA, S. S. **Pesquisa em educação**: métodos e epistemologias. Argos, 2007.

GRAY, D. E. **Pesquisa no Mundo Real**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

HENRIQUES, F. E. **Grau de adoção da modularidade em projeto e em produção em montadoras automotivas no Brasil**: avaliação de novos desenvolvimentos de veículos, 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

HENRIQUES, F. E.; MIGUEL, P. A. C. Use of product and production modularity in the automotive industry: a comparative analysis of vehicles developed with the involvement of Brazilian engineering centers. **Gestão & Produção**, v. 24, n. 1, p. 161-177, 2017.

HODGES, Peter. Issues in automotive product platform strategies. SAE WORLD CONGRESS & EXHIBITION, Detroit, Michigan - USA, 2004. In: **Anais...**, Detroit, Michigan - USA: SAE Technical Paper, 2004.

HOFFMAN, R. **Estatística para Economistas**. 4. ed. Rev. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

HOWARD, M.; SQUIRE, B. Modularization and the impact on supply relationships. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n. 11, p. 1192-1212, 2007.

HUANG, C. C. Overview of modular product development. **Proceedings-National Science**

Council Republic of China Part a Physical Science and Engineering, v. 24, n. 3, p.149-165, 2000.

JACOBS, M.; VICKERY, S. K.; DROGE, C. The effects of product modularity on competitive performance: do integration strategies mediate the relationship? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 27, n. 10, p. 1046-1068, 2007.

JIAO, J. R.; SIMPSON, T. W.; SIDDIQUE, Z. Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review. **Journal of intelligent Manufacturing**, v. 18, n. 1, p. 5-29, 2007.

JUNGK, I. Métodos para a investigação do real. **Teccogs: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, São Paulo, n. 12, p. 37-65, jul-dez., 2015.

KHIRE, R. et al. Product family commonality selection through interactive visualization. In: ASME 2008 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, August 3-6, 2008, New York - USA. **Anais...**, New York - USA: American Society of Mechanical Engineers, 2008. p. 999-1009.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHOTRA, M. K. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

KRAUSE, D.; EILMUS, S. Methodical support for the development of modular product families. In: BIRKHOFER, Herbert (Ed.). **The future of design methodology**. London: Springer, 2011. p. 35-45.

KRAUSE, D. et al. Integrated development of modular product families: a methods toolkit. In: SIMPSON T. W. et al. (Ed.). **Advances in Product Family and Product Platform Design**. New York-USA: Springer, 2014, p. 245-269.

KUSIAK, A. Integrated product and process design: a modularity perspective. **Journal of Engineering Design**, v. 13, n. 3, p. 223-231, 2002.

LACERDA, J. S. Modularidade e Flexibilidade de Manufatura: uma análise comparativa. In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 28, Curitiba. **Anais...**, Curitiba: EnANPAD, 2004. p. 1-11. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad2004-gol-2100.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

LAU, A. K. W.; YAM, R. C. M.; TANG, E. The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: An empirical study. **International Journal of Production Economics**, v. 105, n. 1, p. 1-20, 2007.

LOPES, P. C., SOUZA, J. P., TUBINO, D. F. Sispep - sistema simulador do planejamento estratégico de produção. Uma proposta de capacitação para gestão. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Niteroi. **Anais do ENEGEP**. 1998.

LUKACS, L. P. **Evolução dos sistemas de produção**: Ford Amazon na Bahia. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Administração da Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador, 2005.

- MAGALHÃES, J. J. L. de. **O emprego do custo meta em uma estrutura de consórcio modular**: um estudo multicaso para os sistemas do consórcio modular da FORD de Camaçari/BA. 2007. 172f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MCDERMOTT, G.; MUDAMBI, R.; PARENTE, R. Strategic modularity and the architecture of multinational firm. **Global Strategy Journal**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2013.
- MORGAN, D. L. Paradigms lost and pragmatism regained - methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 1, n. 1, p. 48-76, 2007.
- MUFFATTO, M.; ROVEDA, M. Developing product platforms: analysis of the development process. **Technovation**, v. 20, n. 11, p. 617-630, 2000.
- NUNES, F. L. Modularização-conceitos, abordagens e benefícios: uma revisão teórica. **Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 2, p. 22-44, 2017.
- PIRAN, F. A. S. et al. A Product modularization and effects on efficiency: An analysis of a bus manufacturer using data envelopment analysis (DEA). **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 1-13, 2016a.
- PIRAN, F. A. S. et al. Modularization strategy: analysis of published articles on production and operations management (1999 to 2013). **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 86, n. 1-4, p. 507-519, 2016b.
- PIRES, F. E. B. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Tendências da Indústria Automobilística Brasileira, 2003. Disponível em: <http://professorricardo.tripod.com/Artigo_8.pdf>. Acesso em: 29 set. 2014.
- PIRMORADI, Zhila; WANG, G. Gary; SIMPSON, T. W. A review of recent literature in product family design and platform-based product development. In: SIMPSON, T. W. et al. (Ed.). **Advances in product family and product platform design**. New York-USA: Springer, 2014. p. 1-46.
- QUIVY, R.; VAN CAMPENHOUDT, L. **Manual de investigação em ciências sociais**. 4 ed. Lisboa: Gradiva, 2005.
- SACOMANO NETO, M.; TRUZZI, O. M. S. Posicionamento estrutural e relacional em redes de empresas: uma análise do consórcio modular da indústria automobilística. **Gestão e Produção**, v. 16, n. 4, 2009.
- SCHILLING, M. A. Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. **Academy of management review**, v. 25, n. 2, p. 312-334, 2000.
- SCHUH, G.; RUDOLF, S.; SOMMER, M. Platform-oriented design of development organizations. In: CHARTING THE FUTURE OF INNOVATION MANAGEMENT, PROCEEDINGS OF ISPIM INNOVATION FORUM, 2016, March 13-16, Boston MA, USA. **Anais...**, Boston MA, USA: ISPIM INNOVATION FORUM, 2016.
- SANCHEZ, R.; MAHONEY, J. T. Modularity, flexibility, and knowledge management in

product and organization design. **Strategic management journal**, v. 17, n.2, p. 63-76, 1996.

SALERNO, M. S. The characteristics and the role of modularity in the automotive business. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v.1, n.1, p.92-107, 2001.

SALERNO, M. S. Modularity, industrial condominiums and modular consortium: a new form of organization of the production chain in the Brazilian automotive industry. In: FISITA WORLD AUTOMOTIVE CONGRESS, Seoul-Korea, June, 2000. **Anais...** Seoul-Korea, 2000, p. 1-6. Disponível em: <<http://210.101.116.115/fisita/pdf/G314.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo: Atlas, 2002.

SMITH, A.D. Search of Manufacturing Quality and low cost in the global automobile industry. In: EVANS, Aaron T.; LARSON, Lorenzo J. **Automobiles and the Automotive Industry**. New York-USA: Nova Science Publishers, Inc, 2015. p. 140 -185.

SONEGO, M.; ECHEVESTRE, M. S. Seleção de métodos para modularização no desenvolvimento de produtos: revisão sistemática. **Production**, v. 26, n. 2, 2016.

STARR, M. K. Modular production - a 45-year-old concept. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 30, n. 1, p. 7-19, 2010.

TYAGI, Satish et al. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. **International Journal of Production Economics**, v. 160, p. 202-212, 2015.

VENANZI, D. **Uma análise dos modelos de consórcio modular e condomínio industrial na indústria automobilística brasileira sob a perspectiva de estratégia de operações**. 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

VIERO, C. F. L.; NUNES, F. Módulo, modularidade, modularização e produto modular: uma análise bibliográfica a partir da evolução histórica conceitual. **Espacios**, v. 37, n. 3, p. 19-33, 2016.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York : Harper Perennial, 1991.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZIRPOLI, F.; BECKER, M.C. The limits of design and engineering outsourcing: performance integration and the unfulfilled promises of modularity. **R&D Management**, v. 41, n. 1, p. 21-43, 2011.